

Juli-Ann Rikkonen

Esikäsittelyiden vaikutus korroosionestomaalien tartuntaan
alumiinipinnoilla.

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

21.4.2014

Tekijä(t)	Juli-Ann Rikkonen
Otsikko	Esikäsittelyiden vaikutus korroosionestomaalien tartuntaan alumiinipinnoilla.
Sivumäärä Aika	59 sivua + 1 liitettä 21.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Materiaali- ja korroosiotekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Kai Laitinen Tuotekehityskemisti Risto Fabritius Tuotekehityskemisti Kalevi Panka
<p>Tämän insinööritoiminnan tarkoituksena oli kerätä tietoa erilaisten esikäsittelyiden vaikutuksista korroosionestomaalauksen tartuntaan alumiinipinnoilla. Vertailut tehtiin tavanomaisten esikäsittelyiden ja kemiallisten konversiopinnoitteiden välillä. Tutkittavina alumiinilajeina olivat anodisoitu, seostamaton ja niin sanottu merialumiini. Vertailtavia esikäsittelymenetelmiä oli neljä: pyyhkäisysuihkupuhdistus, tartuntapohjamaalaus ja kaksi konversiopinnoitetta. Maaliyhdistelminä olivat märkä- sekä jauhemaalit.</p> <p>Maalikalvon kestävyyttä testattiin irtiveto- ja hilaristikkokokein sekä kondenssi- ja suolasumutestein. Kaikille levyille alumiinilajista, esikäsittelystä tai maalauksesta riippumatta tehtiin suolasumutestaus 480 tunnin koestusajalla ja kondenssitestaus 240 tunnin koestusajalla.</p> <p>Tutkimuksen tulokset osoittivat, että muilla alumiinien esikäsittelyillä voidaan päästä vähintään yhtä hyvään korroosiosuojaan kuin yleisimmin käytetyillä pyyhkäisysuihkupuhdistuksella ja tartuntapohjamaalauksella. Toimivia alumiinilajin, esikäsittelyn ja maalauksen yhdistelmiä oli monia, joten selkeästi parasta ei voida nimetä. Vaihtelua tuloksiin aiheuttivat myös testausmenetelmät. Kemiallisilla konversiopinnoitteilla voidaan saavuttaa yhtä hyvä maalin tartunta kuin perinteisillä esikäsittelymenetelmillä, jolloin päästään kustannustehokkaisiin ja ympäristöystävällisiin ratkaisuihin.</p>	
Avainsanat	alumiini, kemiallinen esikäsittely, maalin tartunta

Author(s)	Juli-Ann Rikkonen
Title	Effects of pre-treatments on the adhesion of anticorrosion paint to aluminum.
Number of Pages	59 pages + 1 appendices
Date	21 april 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Engineering
Specialisation option	Material Science and Corrosion Technology
Instructor(s)	Kai Laitinen, Principal Lecturer Risto Fabritius, Product development chemist Kalevi Panka, Product development chemist
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to gather information about on the effect of pretreatments on the adhesion of anticorrosion paint to aluminum. Comparisons were made between conventional pre-treatments and chemical conversion pre-treatments. The aluminum types studied were anodized aluminum, unalloyed aluminum and so-called marine aluminum. There were also four pre-treatment methods under comparison: sweep blasting, adhesion priming and two different conversion coatings. The coating systems used were wet and powder coating.</p> <p>The paint film resistance was tested by pull-off test, cross hatching method and by quick condensation and salt spray tests. Regardless of the type of the aluminum, pre-treatment or painting, all of the plates were salt spray tested for 480 hours and quick condensed for 240 hours.</p> <p>The results of the study showed that other pre-treatments of aluminum can reach at least as good results as the most commonly used sweep blasting and adhesion priming. There were many successful pre-treatment and coating combinations; therefore, it is difficult to name the absolutely best combination. Test methods also caused variation in the results. Chemical conversion coatings can achieve as good adhesion of paint as traditional treatment methods, allowing cost-effective and environmentally friendly solutions.</p>	
Keywords	aluminium, chemical pre-treatment, paint adhesion

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Alumiini ja alumiiniseokset	2
2.1	Alumiinin valmistaminen bauksiitista	2
2.2	Oksidikalvo	3
2.3	Alumiiniseokset	4
2.3.1	Valuseokset	6
3	Alumiinin yleisimmät korroosimuodot	8
3.1	Pistekorroosio	8
3.2	Rakokorroosio	8
3.3	Galvaaninen korroosio	9
3.4	Lankamainen korroosio	10
4	Alumiinin korroosiosuojauskeinot	11
4.1	Rakennesuunnittelu	11
4.2	Anodisointi	11
4.3	Esikäsittelyt ja maalaus	12
4.3.1	Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS	12
4.3.2	Kemialliset esikäsittelyt	12
4.3.3	Tartuntapohjamaalaus	14
4.3.4	Maalaus	15
5	Koemateriaalit ja niiden käsittelyt	16
5.1	Esikäsittelyt	17
5.1.1	Anodisointi	17
5.1.2	Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS	17
5.1.3	Reaktiopinnoite Oxsilan MM 0706	17
5.1.4	Reaktiopinnoite Bonderite NT - 1	18
5.1.5	Tartuntapohjamaalaus	18
5.2	Koelevyjen maalaus	19
5.2.1	Märkämaalaus	19
5.2.2	Jauhemaalaus	19

6	Testaus menetelmät	20
6.1	Irtivetokoe	20
6.2	Hilaristikkokoe	22
6.3	Kondenssitestit	25
6.4	Suolasumutesti	28
7	Tutkimustulokset	30
7.1	Irtivetokoe	30
7.2	Hilaristikkokoe	32
7.3	Kondenssitestin ja sitä täydentävän hilaristikkokokeen tulokset	35
7.4	Suolasumutestin ja sitä täydentävän hilaristikkokokeen tulokset	40
8	Tulosten tarkastelu	48
8.1	Irtivetokoe	48
8.2	Hilaristikkokoe	49
8.3	Maalikalvon kestävyys kondenssitestissä	49
8.4	Maalikalvon kestävyys suolasumutestissä	50
8.5	Koelevyt paremmuusjärjestyksessä	50
9	Yhteenveto	56
	Lähteet	58

Liitteet

Liite 1. Kuvia koelevyistä

Lyhenteet

5005	Alumiini EN AW - 5005 (anodisoitu alumiini)
1050A	Alumiini EN AW - 1050A (seostamaton alumiini)
5754	Alumiini EN AW - 5754 (merialumiini)
SaS	Pyyhkäisysuihkupuhdistus
Konv. 1	Konversiopinnoite - Oxsilan MM 0706
Konv. 2	Konversiopinnoite - Bonderite NT-1
TP	Tartuntapohjamaalaus
Ohut	Ohut anodisointi (5 - 10 µm)
Paksu	Paksu anodisointi (15 - 20 µm)
Märkä	Märkämaalaus
Jauhe 1 x	Jauhemaalaus yhteen kertaan
Jauhe 2 x	Jauhemaalaus kahteen kertaan

1 Johdanto

Alumiinin käyttö teollisuudessa lisääntyy jatkuvasti ja sen korroosiokestävyydeltä odotetaan paljon. Yleisesti alumiiniseoksia maalataan märkä- sekä jauhemaaleilla. Esikäsittelynä toimivia menetelmiä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, tartuntapohjamaalaus ja kemialliset konversiopinnoitteet. Tiettyjen alumiinilajien maalauksen ollessa harvinaisempaa, niiden esikäsittely- ja maalausyhdistelmistä ei ole riittävästi tutkimustietoa, jotta pystyttäisiin toteamaan, millä käsittelyillä alumiinipinnoille saataisiin paras ja samanaikaisesti taloudellisesti edullinen korroosionestomaalaus. Niin märkä- kuin jauhemaalauspuolellakin asiakaskunta on enenevässä määrin kiinnostunut erilaisten alumiinilajien esikäsittelyiden- ja korroosionestomaalauksen toimivuudesta.

Alumiinirakenteiden monimuotoisuuden vuoksi niiden pyyhkäisysuihkupuhdistus on usein hidasta ja kallista. Prosessista saataisiin huomattavasti nopeampi kemiallisilla esikäsittelyillä, kun kappale voidaan kastaa nestemäiseen kylpyyn, minkä jälkeen maalaus voidaan suorittaa.

Tämän insinööritoiminnan tarkoituksena on vertailla esikäsittelyiden vaikutuksia korroosionestomaalauksen tartuntaan alumiinipinnoilla. Vertailut tehdään tavanomaisten esikäsittelyiden ja kemiallisten konversiopinnoitteiden välillä. Tutkittavia esikäsittelymenetelmiä oli neljä: pyyhkäisysuihkupuhdistus, tartuntapohjamaalaus ja kaksi konversiopinnoitetta. Maaliyhdistelminä olivat märkä- ja jauhemaalaus ja tutkittavia alumiinilaatuja oli kolme. Työn tilaajana on Teknos Oy.

Teknos Oy

Teknos Oy on Euroopan johtavia teollisuusmaalien valmistajia, jolla on vahva asema myös kauppa- ja rakennusmaaleissa. Teknos on perustettu vuonna 1948 ja se on yksi Suomen suurimmista perheyriksistä. Teknoksen palveluksessa toimii noin 1100 henkilöä, joista yli 150 toimii tutkimuksen ja tuotekehityksen parissa.

Tuotantoa Teknoksella on seitsemässä maassa: Suomessa, Ruotsissa, Tanskassa, Saksassa, Puolassa, Venäjällä ja Kiinassa. Omia myyntiyhtiöitä on 15 maassa ja lisäksi vientiä oman edustajaverkoston välityksellä on pariinkymmeneen muuhun maahan. Suomessa Teknoksen tuotantolaitokset sijaitsevat Rajamäellä ja Helsingissä.

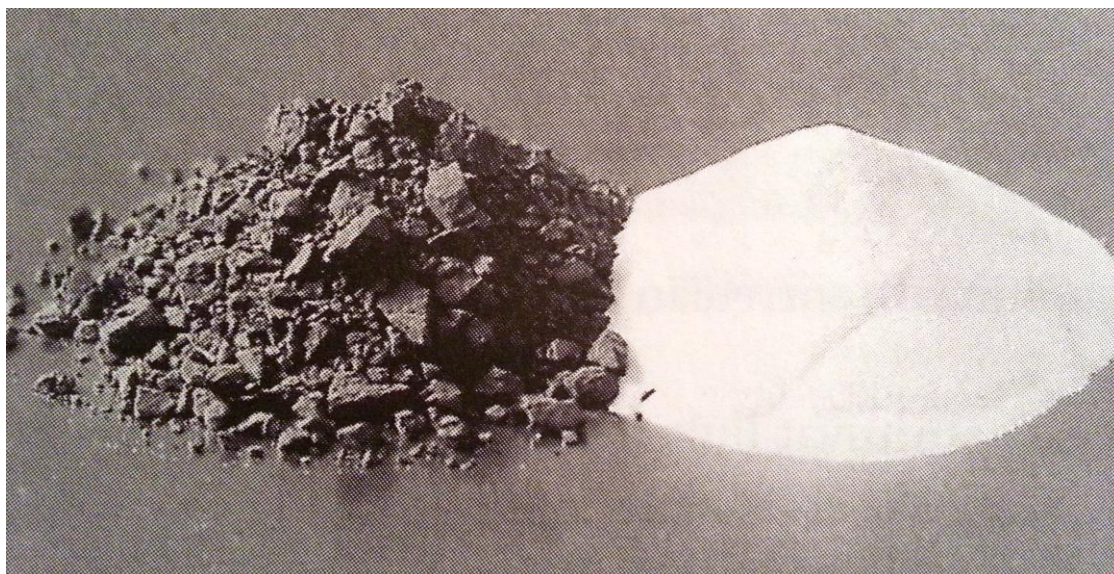
2 Alumiini ja alumiiniseokset

Alumiini on maapallon kolmanneksi yleisin alkuaine hapen ja piin jälkeen. Sitä on maankuoressa noin 8 % ja se on yleisin metalli. Alumiini on hyvin reaktiivinen, minkä vuoksi se esiintyy luonnossa ainoastaan yhdisteinä. Yleisyydestään huolimatta se tuli tunnetuksi vasta 1800-luvulla elektrolyysin keksimisen jälkeen. Elektrolyysi mahdollisti alumiinien eristämisen vapaana alkuaineena.

Nykyään alumiini on hyvin yleisesti käytetty metalli. Ominaisuuksiltaan kevyt, luja, säänkestävä sekä helposti työstettävä ja pintakäsiteltävä materiaali luo mittavat edellytykset sen käytölle. Suurimpia käyttöalueita ovat rakentaminen ja liikenne sekä kuljetus- ja pakkausteollisuus. [1; 2]

2.1 Alumiinin valmistaminen bauksiitista

Alumiinin valmistukseen eivät sovellu kaikki maaperästä löytyvät alumiinioksidipitoiset mineraalit. Parhaita ovat eniten alumiinia sisältävät ja niistä louhintakelpoisin raaka-aine on bauksiitti. Bauksiitti on sekoitus hydratoituneita muun muassa alumiinin, titaanin ja raudan oksideja, joka ovat muodostuneet trooppisissa olosuhteissa silikaattimineraaleista rapautumalla. Kaupallisesti louhintakelpoinen bauksiitti sisältää alumiinia 20 - 30 %. Kuvassa yksi on bauksiittimalmia ja jalostettua alumiinioksidia.



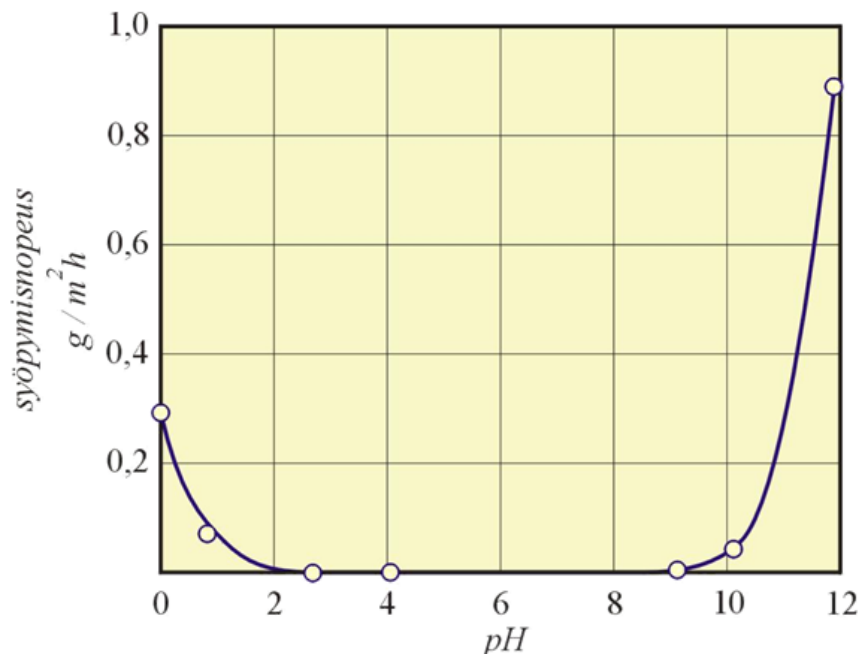
Kuva 1. Bauksiitti jalostetaan alumiinioksidiksi

Bauksiittia jalostetaan ensin alumiinioksidiksi Bayerin prosessissa, jonka jälkeen alumiinioksidista valmistetaan sulatuselektrolyysissä Hall-Héroult –menetelmällä alumiinia. [3, s. 30 - 32]

2.2 Oksidikalvo

Alumiiniin hapettumista ehkäisee 5 - 20 nanometrin paksuinen tiivis oksidi kerros, jonka alumiini muodostaa pintaansa hapen vaikutuksesta. Mitä puhtaampi alumiini on, sitä ohuemmaksi oksidikalvo jää. Oksidikalvon muodostuminen aiheuttaa alumiinin passiivoitumisen, jolloin se muuttuu potentiaaliltaan jalommaksi.

Alumiinin oksidikerros on läpäisemätön, toisin kuin monilla muilla metalleilla ja se tarttuu voimakkaasti alustaansa. Jos alumiinin pintaan tulee epäjatkuvuuskohta mekaanisen rasituksen seurauksena, korjautuu oksidikerros välittömästi itsestään, ellei hapen saanti ole estynyt. Oksidikerros suojaa alumiinin pintaa olosuhteissa, joissa syövyttävän ympäristön pH on alueella 4 - 8,5. Kuvasta yksi nähdään alumiinin syöpymisnopeus pH:n funktiona.



Kuva 2. Alumiinin syöpymisnopeus pH:n funktiona [2]

Syövyttävän ympäristön lisäksi korrodoitumiseen vaikuttavat myös lämpötila ja seoksen koostumus. [4; 5; 6; 7, s. 530]

2.3 Alumiiniseokset

Parhain korroosiokestävyys vaihtelevissa olosuhteissa on seostamattomalla alumiinilla. Seoksen sisältämistä alkuaineista osa on seosaineita ja osa epäpuhtauksia. Mitä vähemmän seos sisältää epäpuhtauksia, sitä parempi on sen korroosionkesto useimmissa ympäristöissä. Seosten ja epäpuhtauksien heikentävä vaikutus alumiinin korroosiokestävyyteen riippuu syövyttävästä ympäristöstä.

Alumiinin ominaisvaatimusten takia on kuitenkin käytettävä seostettuja tai muokkauslujitettuja alumiineja. Seosaineilla pyritään parantamaan alumiinin ominaisuuksia aina lujuudesta muovattavuuteen. Alumiinin tärkeimpiä seosaineita ovat pii, magnesium, mangaani, kupari ja sinkki. Alla olevasta taulukosta yksi nähdään, miten eri seosaineet vaikuttavat alumiinin ominaisuuksiin.

Taulukko 1. Alumiinin seosaineiden vaikutukset [18]

Seosaine	Vaikutus
Kupari	Parantaa lujuutta
Mangaani	Alentaa sulamisaluetta ja parantaa juoksevuutta
Pii	Lisää lujuutta huonontamatta oleellisesti sitkeyttä
Magnesium	Lisää lujuutta huonontamatta oleellisesti korroosionkestävyyttä
Magnesium – Pii	Lisää lujuutta, muovattavuutta ja pursotettavuutta huonontamatta oleellisesti korroosionkestävyyttä
Sinkki	Antaa magnesiumin ja kuparin kanssa suuren lujuuden

Runsaasti seostettuna alumiinista tulee lujaa, mutta korroosiokestävyydeltään huonompaa. Oikealla suojauksella ne kuitenkin ovat täysin käyttökelpoisia. [7, s. 530 - 532; 3, s. 55 - 57]

Alumiini EN AW - 1050A on seostamaton eli puhdas alumiini (Al99,5). Puhdasta alumiinia on vaikea valaa, se on pehmeää ja sillä on pieni lujuus, minkä vuoksi sen käytölle on rajoitteita. Seostamattomalle alumiinille on kuitenkin ominaista hyvä korroosionkestävyys ja muovattavuus sekä erittäin heijastava pinta, jotka luovat soveltuvuuden laajalle käytölle. Puhdasta alumiinia käytetään mm. kemian- ja elintarviketeollisuuden prosessointilaitteissa, taloustavaroissa, pakkauksissa, eristyksessä, julkisivupaneeleissa ja sähköjohtimina. [3, s. 55 - 56; 15]

Alumiini EN AW - 5754 tunnetaan myös nimellä merialumiini ja sen pääseosaine on magnesium (AlMg3). Kun seoksessa on vähintään 3 % magnesiumia, materiaalilla on hyvä korroosionkestävyys myös teollisuusilmastossa ja merivedessä. Hyvän lujuusominaisuutensa ja korroosionkestävyytensä vuoksi seoksella on runsaasti käyttökohteita. Tavallisimmin sitä käytetään levyinä, putkina, profiileina, nauhoina, lattiamateriaaleina sekä takeina talon-, veneen- ja laivanrakennuksessa. Yleisiä käyttökohteita ovat myös ajoneuvojen rungot, elintarvikkeiden valmistusvälineet sekä sähkö- ja elektroniikkateollisuuden laitteet. [3, s. 56 - 57; 16]

Merialumiinin tavoin alumiini EN AW - 5005 on seostettu magnesiumilla (AlMg1), jota se sisältää kuitenkin vain 1 %:n. Lujuusominaisuuksiltaan seos on keskivahva ja se kestää hyvin ilmastokorroosiota. Se soveltuu myös hyvin rulla- ja puristusmuovaukseen sekä sillä on hyvät hitsattavuusominaisuudet. Seoksen tärkein etu on sen soveltuvuus anodisointiin. Ominaisuuksiltaan seos soveltuu hyvin moneen käyttötarkoitukseen. Käyttökohteita ovat muun muassa anodisoidut kalusteet, laivojen- ja veneiden rungot ja kansirakenteet sekä lämmitys- ja jäähdytyslaitteet. [3, s. 68; 17]

2.3.1 Valuseokset

Valuseoksia valmistetaan karkenevina ja karkenemattomina ja ne jaetaan seitsemään eri ryhmään seosten koostumuksen mukaan (taulukko 2).

Taulukko 2. Valuseosten ominaisuuksia [7]

Valuseos	Ominaisuus
AlSi	Hyvä valettavuus ja murtovenymä. Soveltuu ohutsenämäisiin tuotteisiin
AlSiMg	Karkeneva ja hyvä valettavuus
AlSiCu	Hyvä työstettävyys, edullinen
AlMg	Anodisoitava, korroosionkestävä
AlSiCuMg	Karkeneva, suuri lujuus
AlCuTiMg	Karkeneva, suuri lujuus

Valuseokset lajitellaan myös käytettävän valumenetelmän mukaan hiekka-, kokilli- ja painevaluseoksiin. Painevaluseokset eroavat vain vähän vastaavista hiekka- ja kokilli-valuseoksista ja niihin käytetään AlSi-, AlSiCu- ja AlMg –seoksia korkealla magnesium pitoisuudella. Painevalulla valmistettujen kappaleiden lujuusvaatimukset ovat tavallisesti korkeammat kuin kokillivalettujen kappaleiden. Painevalukappaleita ei seoksesta riippumatta voida hitsata tai karkaista, sillä niiden rakenne on epähomogeeninen sisältäen huokosia ja oksidisulkeumia. Jos hitsaus tai karkaisu halutaan suorittaa, tulee käyttää erikoista valutekniikkaa.

Karkenemattomista valuseoksista AlSi-seoksilla on hyvät valuominaisuudet, kohtalainen lujuus sekä korroosionkestävyys. Niiden hitsattavuus on myös hyvä. Alumiini-piiseoksissa on piitä noin 12,5 % ja ne jäähmettyvät 577 °C:ssa. Matalamman piipitoisuuden seoksilla saadaan tiiviimpiä valukappaleita. Karkenemattomia valuseoksia ovat myös alumiini-magnesium-yhdistelmät. Niillä on hyvä korroosionkestävyys erityisesti merivedessä sekä hyvä kiillotettavuus ja anodisoitavuus. AlMg-seoksia käytetään te-

lakkateollisuudessa, kemian teollisuudessa sekä koristeellisiin anodisoituihin rakenteiden osiin.

Karkenevista valuseoksista AlCuTi-seokset ovat lujimpia alumiinivaluseoksia ja niillä on hyvä murtovenymä. Kuumarepeilytaipumuksen vuoksi niitä on vaikeampi valaa kuin AlSiMg-seoksia, ja tämä tulee ottaa huomioon kokillivaluun tarkoitettujen osien suunnittelussa.

Kun AlSi-seokseen lisätään muutama prosentin kymmenesosa magnesiumia, nämä tulevat karkeneviksi ja niiden lujuus sekä kovuus kasvavat merkittävästi muiden ominaisuuksien muuttumatta. Muita karkenevia seoksia ovat alumiini-pii-kupari ja alumiini-sinkki-magnesium. AlSiCu-seoksilla on hyvä valettavuus ja niitä käytetään kohteisiin, joissa ei ole korkeita lujuus-, murtovenymä- ja korroosionkestävyysvaatimuksia. AlZnMg-seoksia taas voidaan käyttää kohteissa, joissa on korkeat vaatimukset edellämainituille ominaisuuksille. [3, s. 59 - 61]

3 Alumiinin yleisimmät korroosimuodot

3.1 Pistekorroosio

Alumiinin yleisin korroosimuoto on piste- eli kuoppakorroosio, joka on oksidikerroksen pisteittäistä rikkoutumista. Se syntyy ilman altistamana, kupari- ja rautapitoisten partikkelien läheisyydessä ja elektrolyytin ollessa läsnä. Korroosiota ei yleensä havaita silminnähtävänä kuoppana, sillä alumiinioksidista- ja hydroksidista muodostuneet korroosiotuotteet peittävät korroosiokohdan.

Pistekorroosio ei yleensä vaikuta materiaalin lujuuteen, vaan se on lähinnä esteettinen ongelma. Ohutseinämaisissä rakenteissa, kuten putkissa ja säiliöissä, kuopat saattavat kuitenkin mennä seinämän läpi aiheuttaen vuotoja. Ensimmäisenä vuotena pistekorroosion kasvunopeus on suurin, jonka jälkeen tapahtuu vain vähäistä kuoppien laajentumista ja määrän lisääntymistä. Kymmenen vuoden altistumisen jälkeen kuopan syvyys harvoin ylittää 0,1 mm. Materiaalin ollessa rasituksessa vedessä tai maaperässä kuopat voivat muodostua syvemmäksi. [3, s.104; 7, s.103]

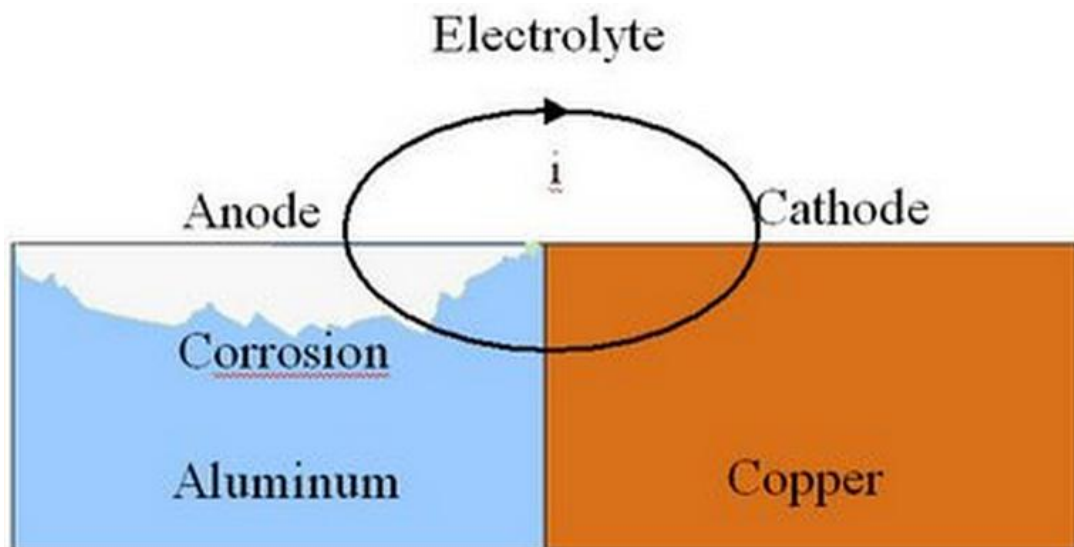
3.2 Rakokorroosio

Rakokorroosiota tapahtuu ahtaissa raoissa, koloissa ja syvennyksissä, joissa liuos ei pääse vaihtumaan samalla nopeudella kuin muilla metallipinnan alueilla. Yleisimpänä syynä korroosioparin muodostumiselle ovat liuoksen happipitoisuuserot, jolloin raossa liuos muuttuu korroosiota kiihdyttäväksi. Rakokorroosiota esiintyy happamissa ja emäksisissä liuksissa, sekä luonnonvesissä. Erityisesti metallit, joiden korroosionkestävyys on passivaation seurausta, ovat hyvin herkkiä rakokorroosiolle.

Alumiinilevyjen- ja rakenteiden väliin voi kerääntyä vettä kuljetuksen tai varastoinnin aikana, jolloin syntyy ihanteellinen ympäristö rakokorroosion synnylle. [3, s.105; 7, s. 107 - 108]

3.3 Galvaaninen korroosio

Galvaaninen korroosio muodostuu silloin kun samassa elektrolyytissä on kaksi erilaista metallia sähköisessä kontaktissa toisiinsa. Mitä korkeamman elektrodipotentiaalin metalli omaa, sitä jalompi se on. Galvaanisessa korroosiossa metalli jolla on alhaisempi elektrodipotentiaali, muodostuu anodiksi ja syöpyy. Kuvassa kolme nähdään galvaaninen korroosio alumiinin ja kuparin välillä.

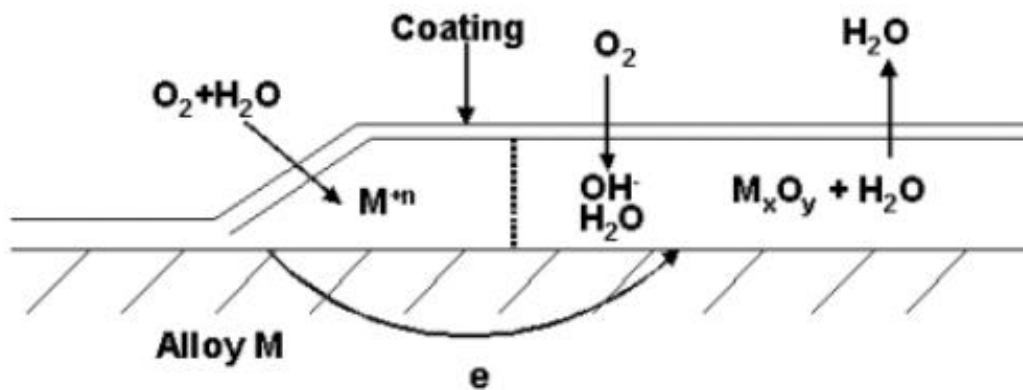


Kuva 3. Galvaaninen korroosio alumiinin ja kuparin välillä

Alkuaineiden sähkökemiallisessa jännitesarjassa alumiini sijaitsee melko alhaalla. Näin ollen se on heikommassa asemassa joutuessaan kosketuksiin itseään jalompien metallien kanssa. Jalommat metallihiukkaset ovat vaarallisia, koska ne estävät alumiinille tyypillisesti tasaisen oksidikalvon muodostumisen. Esimerkiksi heikoin korroosiokestävyys on alumiini kupari seoksilla, joissa näiden kahden metallin suuri potentiaaliero johtaa helposti rakenteen syöpymiseen. Kuitenkin alumiini kestää kohdassa 2.2 kerrotun oksidikalvon ansiosta huomattavasti paremmin kuin monet muut sähkökemiallisen sarjan keskivaiheilla olevat metallit. [7, s. 109 - 110, s. 530 - 534]

3.4 Lankamainen korroosio

Lankamaista korroosiota esiintyy maalatuilla teräs- ja alumiinipinnoilla. Korroosio etenee maalikalvon alla satunnaisesti suuntiin ja näkyy lankamaisina kohoumina. Lankamainen korroosio pääsee muodostumaan esimerkiksi meriveden päästessä kosketuksiin metallin kanssa pinnoitteen reikien tai huokoisten kautta. Kuvassa neljä nähdään lankamaisen korroosion mekanismi.



Kuva 4. Lankamainen korroosio [11]

Korrodoituminen tapahtuu langan päässä, joka sisältää syövyttävää liuosta ja jättää jälkeensä ei-aktiivisen hännän, joka sisältää lähinnä kuivaa korroosiotuotetta. [8]

4 Alumiinin korroosiosuojauskeinot

4.1 Rakennesuunnittelu

Rakenteiden oikealla suunnitellulla voidaan ehkäistä suojaavan oksidikalvon rikkoutuminen. Yleensä galvaanisen korroosion syynä onkin rakenne, joka on väärin suunniteltu.

Pinnat tulee suunnitella siten, että ne tuulettuvat hyvin ja pysyvät puhtaina, eikä rakenteessa saa olla kohtia joihin vesi kerääntyy ja jää seisomaan pitkiksi ajoiksi. Ahtaiden rakojen ja koteloiden välttäminen on tärkeää, koska näihin tiloihin vesi pääsee kulkemaan, mutta sen haihtuminen on hidasta. Jos rakojen välttäminen on mahdotonta, tulee käyttää eristysaineita niiden tiivistämiseen. Kun rakenteita huolletaan, tulee varmistaa pintojen kunto sekä poistaa keräytyneet roskat ja epäpuhtaudet. [3, s. 103 - 105; 7, s. 536]

4.2 Anodisointi

Anodisointi on alumiinin sähkökemiallinen pintakäsittelymenetelmä, jolla sen luonnollista suojaavaa oksidikalvoa voidaan kasvattaa 500 - 1000-kertaiseksi. Käsiteltävä kappale upotetaan rikkihappoliuokseen, jossa se toimii anodina ja altaan sivuilla olevat alumiini- tai lyijylevyt katodeina. Elektrolyyttiin kytketään tasavirta, jolloin alumiini anodin pinnalla muuttuu oksidiksi ja katodeilta vapautuu vetyä. Oksidikerros voidaan kasvattaa halutun suuruiseksi, tavallisimmin 5 - 25 µm:n kerrospaksuuksiin.

Anodisoinnin jälkeen kerrokset yleensä tiivistetään upottamalla kappale 99 ± 1 °C:n lämpöiseen veteen, jossa oksidikerros hydrolysoituu, jolloin se paisuu ja huokokset täyttyvät. Tiivistetty anodisointikerros antaa metallille erinomaisen korroosiosuojan ja sen ollessa erittäin kovaa, suojaa se materiaalia myös mekaanisilta vahingoilta. [3, s.130 - 132; 7, s. 535].

4.3 Esikäsittelyt ja maalaus

4.3.1 Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS

Suihkupuhdistus on metallipintojen yleisin ja tehokkain mekaaninen esikäsittelymenetelmä. Puhdistuksen lisäksi raesuihkulla voidaan tuottaa haluttu pintaprofiili. Puhallusrakeet singotaan puhdistettavaa pintaa kohti keskipakoisvoiman, ilma- tai nestevirran avulla. Pyyhkäisysuihkupuhdistuksessa puhalluksessa käytetään matalaa ilmanpainetta, jolla alustalle saadaan tasaisen himmeä pinta tartunta-alustaksi maalille.

Puhdistukseen on valittavissa monenlaisia rakeita. Käytettävän raetyypin valintaan vaikuttaa puhdistettava materiaali, terästen ruostumisaste, haluttu pinnankarheus, tarvittava puhdistustehokkuus, rakeiden uudelleen käyttö ja puhalluslaitteisto. Rakeet on jaettu kahteen pääryhmään: metallisiin ja ei-metallisiin. Nämä kaksi ryhmää jaetaan edelleen muodon perusteella pyöreisiin, särmikkäisiin ja sylinterinmuotoisiin rakeisiin. [9, s. 32 - 33; 10]

4.3.2 Kemiaalliset esikäsittelyt

Maalin tartuntaa voidaan parantaa liuksilla, jotka muodostavat konversio- eli reaktiopinnoitteen alumiinipinnoille. Tällaisia pinnoitteita ovat esimerkiksi fosfatoi, kromatoi ja silaanipinnoitteet.

Sinkkifosfatoi parantaa maalikalvon tarttuvuutta metallipintaan ja pinnan korrosiokestävyyttä. Fosfatoi toimii käytettäväksi rauta-, teräs-, sinkki- ja alumiinipinnoilla. Pohjamateriaalin ollessa alumiinia, liuoksen tulee sisältää fluorideja. Fluoridit käynnistävät alumiinin liukenemisen. Pinnoite koostuu hopeitista ja kylpyyn saostuva komponentti on kryoliittia Na_3AlF_6 . Pinnoitteen pinta-alamassa vaihtelee yleensä 0,3 - 10 g/m² välillä.

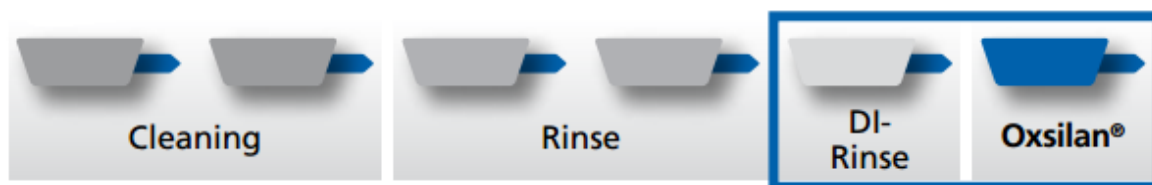
Fosfatoi käsittely voidaan suorittaa joko ruiskuttamalla liuosta kappaleen pinnalle tai upottamalla kappale kylpyliuokseen. Prosessiin sisältyy yleensä viisi käsittelyvaihetta: puhdistus, huuhtelu, fosfatoi, huuhtelu ja passivoiva huuhtelu. Käsittelyajat vaihtelevat menetelmästä riippuen. Ruiskutuksessa kasto aika on 1 - 3 min ja upotusfosfatoimisissa 3 - 20 min. [9, s.98; 11]

Kromatointi on käsittely, jossa kappaleen pinnalle muodostuu hyvän maalausalustan ja korroosiosuojan antava pinnoite. Kromatointi suoritetaan happamissa liuoksissa, jotka sisältävät kromaatteja. Liukeneva alumiini reagoi alumiinin pinnalla pinnoituskyllyn komponenttien kanssa muodostaen ohuen epäorgaanisen pinnoitteen. Kromatointi voidaan tehdä alumiini-, hopea-, kupari-, magnesium- ja sinkkipinnoille. Alumiinin anodisointiin verrattuna pinnoite kestää huomattavasti huonommin kulutusta ja korroosiota, mutta on huomattavasti halvempi prosessi.

Kromatointi voidaan suorittaa joko ruiskuttamalla liuosta kappaleen pinnalle tai upottamalla kappale kylpyliuokseen. Prosessin käsittelyvaiheet yleisimmin ovat: puhdistus, huuhtelu, oksidin poisto, huuhtelu, kromatointi, huuhtelu, passivointi ja kuivaus. Käsittelyajat vaihtelevat 30 sekunnin ja kahden minuutin välillä, mutta jopa tunnin käsittelyaikoja tehdään, riippuen kappaleen käyttöolosuhteista. [18; 13, s.103 - 104]

Oxsilan MM 0706 kuuluu silaanipohjaisiin esikäsittelyaineisiin, ja se sopii kaikille metallipinnoille. Tuotteita löytyy useita kymmeniä, joista valitaan oikea käsittely kuhunkin tarkoitukseen. Menetelmä on ympäristöystävällinen, sillä se ei sisällä lainkaan fosfaatteja tai raskasmetalleja. Prosessista ei myöskään muodostu suuria määriä sakkaa, jolloin mittavaa jätevedenpuhdistusta ei tarvita.

Kemiallisen reaktion seurauksena silaaniketjusta muodostuu n. 30 - 80 nm:n paksuinen molekyyliverkosto metallin pinnalle, joka parantaa maalin tarttuvuutta. Maalin tarttuvuuden parantuessa metalli on paremmin suojattu, mikä lisää pinnan korroosiokestävyyttä. Alla olevasta kuvasta 5. nähdään Oxsilan MM 0706:n käsittelyvaiheet.



Kuva 5. Oxsilan MM 0706 käsittelyvaiheet

Käsittely suoritetaan viidessä vaiheessa: rasvanpoisto, kolme huuhtelua ja Oxsilan jälkikäsittely. Ainoa lämmitettävä kylpy on rasvanpoisto. Kappale voidaan käsitellä ruiskuttamalla Oxsilan kappaleen pintaan tai upottamalla kappale liuokseen. Käsittelyaika on 30 - 240 sekuntia pH:n ollessa 4,5 - 6,5. [12]

Bonderite NT - 1 on reaktiivinen teräs-, alumiini- ja sinkkipintojen esikäsittelyaine, joka muodostaa yhtenäisen, epäorgaanisen pinnoitteen. Tiheä pinnoite on n. 20 - 30 nm paksuinen ja se kasvattaa alustan tartuntapinta-alaa. Pinnoite lisää näin maalin tarttuvuutta, jolloin maalattavan alustan korroosiokestävyys paranee. Menetelmä on ympäristöystävällinen, sillä se on fosfaatti-, BOD-, COD- ja raskasmetallivapaa, joten jätevedenkäsittely ja jätteenpoisto ovat helpompaa ja turvallisempaa.

Bonderite NT - 1 voidaan levittää kappaleen pintaan joko kastamalla tai ruiskuttamalla ja liuoksen konsentraatiosta riippuen sen käsittelyaika on 20 - 180 sekuntia. Kylpyjä ei tarvitse lämmittää, sillä aine toimii huoneenlämmössä. Käsittelyprosessissa on viisi vaihetta: rasvanpoisto, kaksi huuhtelua, Bonderite NT -käsittely ja huuhtelu. [13]

4.3.3 Tartuntapohjamaalaus

Tartuntapohjamaaleja käytetään metallipinnoilla ensimmäisenä maalikerroksena maalauksen tartunnan varmistamiseksi. Pohjamaali parantaa pintamaalin tarttuvuutta metallin pintaan ja eristää pinnalle tulevan maalikalvon reaktiivisesta metallista.

Tartuntapohjamaaleina käytetään sekä märkä että jauhemaaleja. Jauhemaali muodostaa kovettuessaan mekaanisesti kestävä ja korroosiolta hyvin suojaavan kalvon. Jauhemaaleilla suoritettu pohjamaalaus voidaan päälle maalata soveltuvilla pintamaaleilla. Kalvonpaksuudet vaihtelevat riippuen käytettävästä maalista ja alusmateriaalista sekä kappaleen käyttökohteista.

Märkämaalia ohennetaan tarvittaessa 5 - 40 % ja maalaus tehdään yleisimmin harso- tustekniikalla maalattavalle alustalle hyvin ohuelti ruiskuttaen. Maali levitetään siveltimellä, hajotusilmaruiskulla tai ilmattomalla ruiskulla. Tartuntapohjamaalista riippuen sen päälle voidaan maalata joko 1- tai 2 -komponenttisilla vesi- tai liuotinhenteisillä maaleilla tai jauhemaaleilla. Kalvonpaksuudet vaihtelevat suuresti riippuen käytettävästä maalista ja alusmateriaalista sekä kappaleen käyttökohteista.

Jauhe- sekä märkämaalaustyön suorituksen ja maalin kuivumisen aikana tulee ilman, maalattavan pinnan ja maalin lämpötilan olla yli + 5 °C ja optimiolosuhteissa näiden tulisi olla 5 °C:een sisällä toisistaan. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 80 %. [14]

4.3.4 Maalaus

Korroosionestomaalauksessa voidaan käyttää sekä nestemäisiä että jauhemaisia tuotteita. Maali levitetään alustalle ohueksi kerrokseksi, jolloin se kovettuu kiinteäksi alustaan tarttuvaksi maalikalvoksi. Kalvojen paksuudet ovat suuruusluokkaa 100 - 1000 µm.

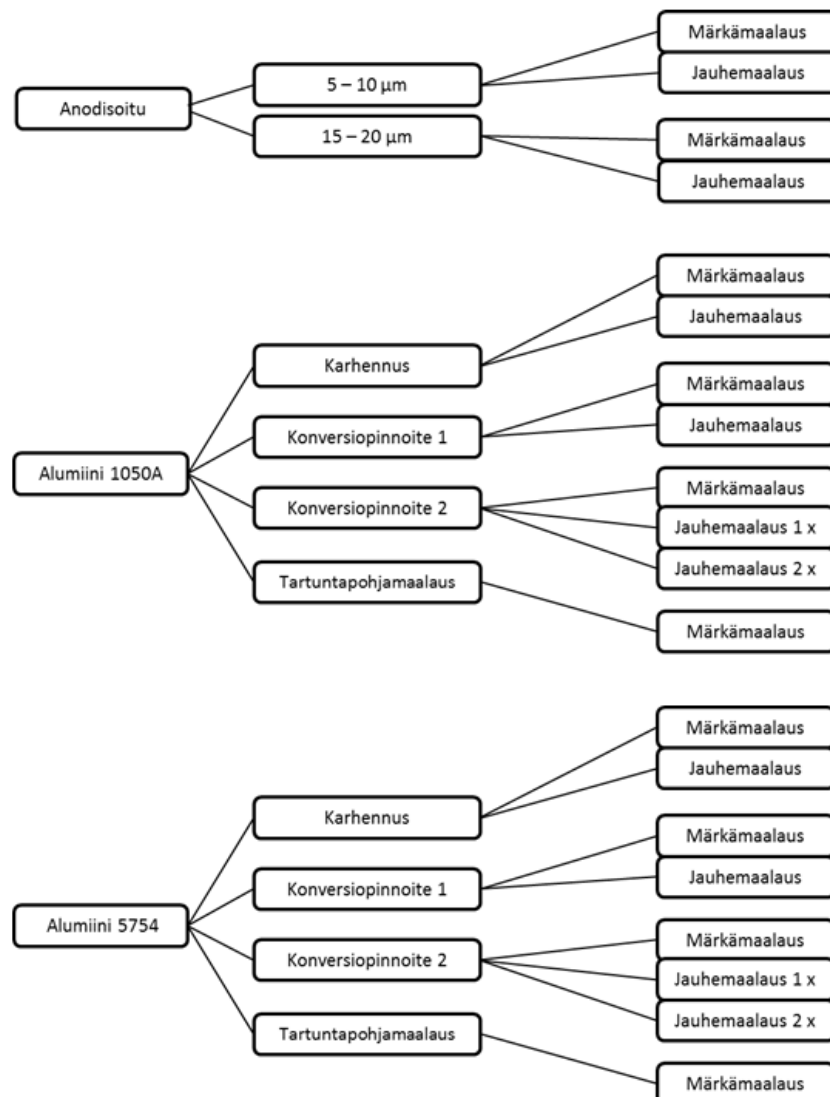
Korroosionestomaalauksen tärkein tehtävä on suojata metallialusta ympäristön syövyttäviltä vaikutuksilta. Maalaus antaa myös rakenteelle halutun ulkonäön tapauksissa, joissa pinnalle on asetettu värivaatimuksia. Tällaisia ovat esim. rakenteiden varoitus- ja tunnusmerkit. Alumiinia maalataan sisä- ja ulkokohteisiin kaikissa rasitusluokissa.

Maalaustyön huolellinen suunnittelu on edellytys toimivaan ja taloudellisesti edulliseen korroosionestomaalaukseen. Maalaustyön suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon maalattavan rakenteen kulku raaka-aineesta valmiiksi toimivaksi rakenteeksi. Maalauksen kestävyys vaikuttaa olennaisesti myös maalin levitys. Työ tulee toteuttaa ammattitaitoisesti, oikeissa maalausolosuhteissa ja maalinvalmistajan ilmoittamien ohjeiden mukaisesti. [7; s. 691 - 698; 14]

5 Koemateriaalit ja niiden käsittelyt

Koemateriaaleina käytettiin Alupro Oy:n EN AW - 1050A (seostamaton alumiini) ja Alumiini EN AW - 5754 (merialumiini), sekä Joptek Oy:n EN AW - 5005 (anodisoitu alumiini) levyjä.

Näytetyyppejä oli yhteensä 20 kpl. Kustakin näytetyypistä valmistettiin 7 koelevyä: 3 kpl suolasumutestaukseen, 2 kpl kondenssitestaukseen ja yhdet levyt veto- ja hilaristikkotestaukseen. Levyjä oli näin ollen kaikkiaan 140 kpl: anodisoituja 28 kpl, seostamatonta alumiinia 63 kpl ja merialumiinia 63 kpl. Seostamattomat ja anodisoidut alumiinilevyt olivat kokoa 70 mm x 100 mm x 3 mm ja merialumiinilevyt kokoa 70 mm x 100 mm x 5 mm. Alla olevasta kuvasta 6 nähdään miten levyjen ja näytetyyppien määrä muodostuu.



Kuva 6. Näytetyyppien muodostuminen

5.1 Esikäsittelyt

5.1.1 Anodisointi

Anodisoituja levyjä tehtiin kahden tyyppisiä: ohuemmalla 5 - 10 µm:n anodisoinnilla, sekä paksummalla 15 - 20 µm:n anodisoinnilla. Tällä haluttiin selvittää anodisoinnin kerrospaksuuden vaikutusta maalin tarttuvuuteen. Anodisoinnin jälkeen kappaleet kas-tettiin ± 99 °C:n lämpöiseen veteen, jolloin pinta tiivistyi.

5.1.2 Pyyhkäisysuihkupuhdistus SaS

Koelevyjen pyyhkäisysuihkupuhdistus tehtiin standardin SFS - EN ISO 12944 - 4 (Maa-lit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 4: Pintatyypit ja pinnan esikäsittely) mukaisesti. Levyt puhallettiin puhalluskaapissa käyttäen rakeena 0,25 - 0,50 mm:n alumiinioksidia. Suutin koko oli 5 mm ja puhallusetäisyys 15 - 20 cm ja verkostoilman paine 7 bar. Levyjä puhallettiin kunnes pinta oli tasaisen himmeä.

5.1.3 Reaktiopinnoite Oxsilan MM 0706

Oxsilan MM 0706 esikäsittely oli viisivaiheinen: 1 pesu, 3 huuhtelua ja Oxsilan-käsittely. Esikäsittelylinjan pituus on n. 27 m pitkä.

Pesualtaassa käytetään Gardobond A 4976 pesuainetta. Pesun pH-arvo tarkistetaan joka aamu titraamalla 10 ml pesuvettä, 25 ml tislattua vettä ja 8 tippaa indikaattori-luosta (fenoliftaleiini). Näyte titrataan titrausliuoksella (0,1 mol natriumhydroksidiliuos), kun-nes väri muuttuu punertavaksi. Näin pH-arvo on välillä 4,5 - 6,0. Pesuveden vaihtoväli on n. 2 kertaa vuodessa.

Ensimmäisessä huuhtelussa käytetään vesijohtovettä ja kahdessa viimeisessä huuhte-lussa tislattua vettä. Huuhteluita seurataan päivittäin ja vesi vaihdetaan aina tarvittaes-sa.

Oxilan käsittelyn pH - arvoa seurataan päivittäin ja mittaus tapahtuu pH:n mittauslait-teella. Liuoksen pH:n tulee olla välillä 5 - 6,5. Oxsilanin vaihtoväli on n. 2 viikkoa.

5.1.4 Reaktiopinnoite Bonderite NT - 1

Bonderite NT - 1 esikäsitteily oli nelivaiheinen: pesu, huuhtelu, Bonderite-käsittely, huuhtelu. Esikäsitteilylinjan pituus on n. 25 m.

Pesualtaassa käytetään Ridosol 2000 ja Ridoline 1574 pesukemikaaleja. Pesun pH mitataan samalla menetelmällä kuin Oxsilan-esikäsitteilyssä, mutta se suoritetaan vain kerran viikossa. Pesuveden pH on noin kymmenen ja se vaihdetaan noin yhden vuoden välein yhtä vuoroa ajettaessa.

Huuhteluvedet vaihdetaan kerran kuussa. Ensimmäisessä huuhtelu altaassa on seisovaa vesijohtovettä ja viimeisessä huuhtelussa käytetään juoksevaa vesijohtovettä.

Bonderite NT-1 kemikaalia lisätään altaaseen päivittäin kokemuksen perusteella n. 7 litraa. Liuoksen pH on välillä 4 - 5,4 ja sitä mitataan liuosta titraamalla. Bonderite käsittely on teoreettisesti ”ikuinen” eli sitä ainoastaan ylläpidetään edellytyksellä, että kylpyyn ei kulkeudu likaa tai epäpuhtauksia. Käytännössä kylpy vaihdetaan kuitenkin n. 4 - 5 vuoden välein.

5.1.5 Tartuntapohjamaalaus

Tartuntapohjamaalaus suoritettiin yksikomponenttisellä, peittaavalla pohjamaalilla. Tartuntapohjamaalia ohennettiin 20 % ja se levitettiin levyjen pintaan hajotusilmaruiskulla ilmanpaineen ollessa 3 bar. Maalausammiossa lämpötila oli 23 °C ja suhteellinen kosteus noin 30 %. Maalin annettiin kuivua yön yli ennen pintamaalausta. Kuivatuksessa lämpötila oli 20 °C ja suhteellinen kosteus 35 %. Tartuntapohjamaalin kuivakalvon paksuudeksi tuli 30 - 35 µm.

5.2 Koelevyjen maalaus

5.2.1 Märkämaalaus

Märkämaalaus suoritettiin kaksikomponenttisella yksikerrospolyuretaanipintamaalilla. Tuote on niukkaliuotteinen ruosteenestopigmentoitu maali, jonka kovetteena on alifaattinen isosyanaattiharts.

Märkämaalaus suoritettiin maalauskammiossa, jossa lämpötila oli 23 °C ja suhteellinen kosteus 30 %. Maalaus tehtiin korkeapaineruiskulla 0,012":n suuttimella ja 180 - 200 bar:in paineella. Pumpun painesuhde oli 46:1. Maalia ohennettiin 3 tilavuus- %, sillä hiukan ohennettuna kalvonpaksuuden säätely on helpompaa. Kuivatuksen aikana lämpötila oli 20 °C ja ilmankosteus 35 %. Kuivakalvonpaksuudet levyissä vaihtelivat 90 - 115 µm:n välillä keskiarvon ollessa noin 100 µm.

5.2.2 Jauhemaalaus

Jauhemaalaus suoritettiin polyesterihartsin perustuvalla jauhemaalilla, joka soveltuu käytettäväksi kohteissa joissa vaaditaan hyvää säänkestävyyttä. Tuote soveltuu erityisesti alumiinirakenteille.

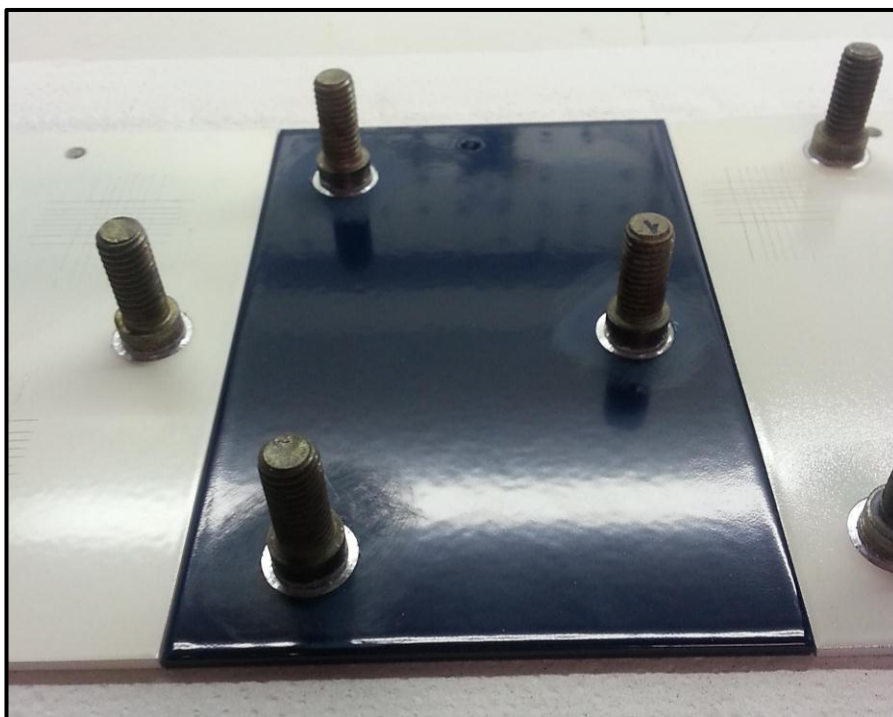
Jauhemaalaus tehtiin Wagnerin EPG - Sprint X -ruiskulla ja PEM - X1 CG -pistoolilla, joka perustuu sähköstaattiseen varaukseen. Käytetty jännite oli 80 kV ja virtaus 2,3 m³/h 30 %:n syötöllä. Jauhemaalatut levyt poltettiin 190 °C:een lämpötilassa 17 minuutin ajan. Uunissa korkeassa lämpötilassa jauhe sulii ja verkkoutui muodostaen lopullisen maalikalvon. Kalvonpaksuudet olivat välillä 80 - 100 µm.

6 Testaus menetelmät

Ennen testauksia märkämaalattujen levyjen annettiin vakioitua standardiolosuhteissa (lämpötila 23 ± 2 °C ja ympäristön suhteellinen kosteus 50 ± 5 %) viikon ajan.

6.1 Irtivetokoe

Irtivetokoe suoritettiin standardin SFS – EN ISO 4624 (Maalit ja lakat. Tarttuvuuden arviointi vetokokeella) mukaisesti. Irtivetokoe tehtiin vain levyille joita ei koestettu ja vain merialumiineille, sillä seostamattomat ja anodisoidut alumiinilevyt olivat liian ohuita kokeeseen. Yhteen koelevyyn liimattiin kolme vetonuppia, jolloin yhdestä näytteestä saatiin kolme tulosta. Vetonupprien liimaamiseen käytettiin kaksikomponenttista epoksi-liimaa, jonka kuivumisaika oli yksi vuorokausi. Liiman kovettumisen jälkeen ylimääräinen nupprien reunoille painunut liima ja maali poistettiin käsiporalla metalliin asti (kuva 7). Tämän jälkeen irtivetokoe suoritettiin ja vetonupit vedettiin irti (kuva 8).



Kuva 7. Liimatut vetonupit jauhemaalattulla alustalla



Kuva 8. Vetokokeesta tullut levy

Irtivetokokeessa tulokseksi saatiin murtolujuus (MPa) ja murtumatyyppi. Silmämääräisesti arvioitavat murtumatyypit ovat seuraavat:

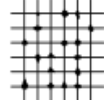
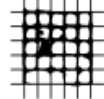
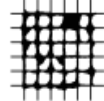
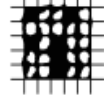
- A on alustan koheesiomurtuma;
- A/B on adheesiomurtuma alustan ja ensimmäisen pinnoitekerroksen välillä;
- B on koheesiomurtuma ensimmäisessä pinnoitekerroksessa;
- B/C on adheesiomurtuma ensimmäisen ja toisen pinnoitekerroksen välillä;
- n on koheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerroksessa n ;
- n/m on adheesiomurtuma monikerrosyhdistelmän kerrosten n ja m välillä;
- /Y on adheesiomurtuma liiman ja pintakerroksen välillä;
- Y on liiman koheesiomurtuma;
- Y/Z on adheesiomurtuma liiman ja vetokappaleen välillä.

Murtumapinta-ala arvioidaan murtumatyypeittäin prosentteina lähimpään 10 %:iin.

6.2 Hilaristikkokoe

Hilaristikkotestaus ja tartunnan arviointi tehtiin standardin SFS - EN ISO 2409 (Maalit ja lakat. Hilaristikkokoe) mukaisesti. Tulokset luokitellaan taulukon mukaisesti ja arviointi tapahtuu silmämääräisesti.

Taulukko 3. Hilaristikkokokeen tulosten luokittelu

Luokitus	Kuvaus	Ulkonäkö leikkausalueella, josta hilseilyä on tapahtunut (Esimerkki kuudelle rinnakkaisleikkaukselle)
0	Leikkausurien reunat ovat täysin sileät, yksikään ristikon ruuduista ei ole irronnut	—
1	Pientä hilseilyä urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta korkeintaan 5 % on vaurioitunut	
2	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta tai urien leikkauspisteissä. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 5 % mutta ei enempää kuin 15 %	
3	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai on hilseillyt osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 15 % mutta ei enempää kuin 35 %	
4	Pinnoite on hilseillyt urien reunoilta osittain tai kokonaan suurina kaistaleina tai joitain ruutuja on irronnut osittain tai kokonaan. Leikkausristikon alueesta on vaurioitunut enemmän kuin 35 % mutta ei enempää kuin 65 %	
5	Mikä tahansa hilseily, jota ei voida luokitella edes luokitteluasteen 4 mukaisesti	—

Hilaristikkotestaus tehtiin käsikäyttöisellä leikkurilla (kuva 10) koestamattomille sekä kondensaatio- ja suolasumutestatuille levyille. Koestamattomille levyille tehtiin kuiva- ja märkätartuntatestaus. Yhdelle levyille tehtiin kolme kuivatartuntaa (kuva 11) ja yksi märkätartunta. Märkätartunnassa ristikko tehdään kohtaan, jonka päällä on ollut vesirasitus yhden vuorokauden ajan (kuva 12 ja 13).

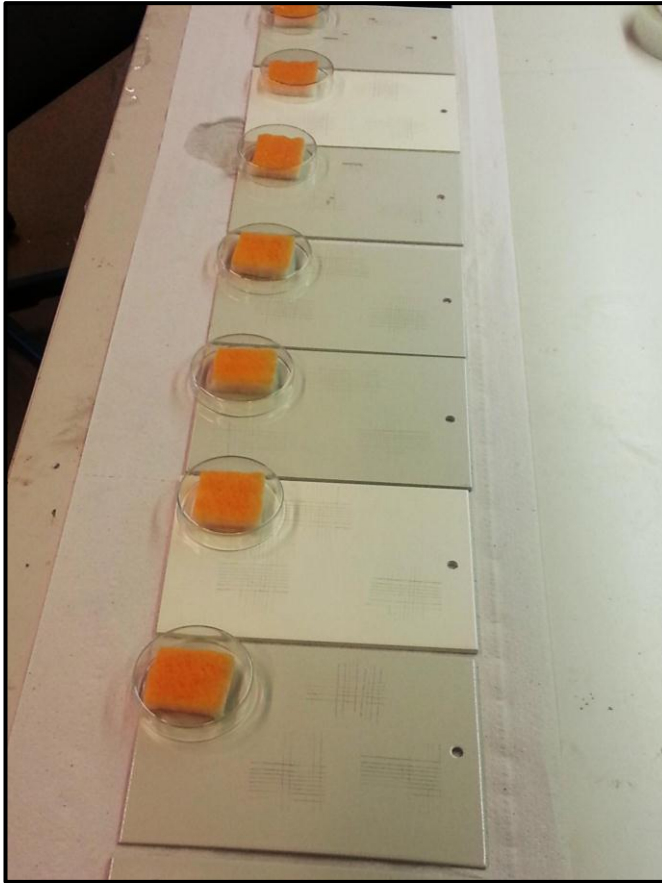
Koestetuille levyille tehtiin ainoastaan kuivatartuntatestaus. Kondensaatio- ja suolasumutestauksessa olleille rinnakkaisille kahdelle levyille tehtiin kumpaakin kaksi ristikkoa, jolloin yhtä näytetyyppeä kohden tuli neljä testausta. Hilaristikot tehtiin ERICHSEN Cross Hatch Cutter Model 295 -leikkurilla.



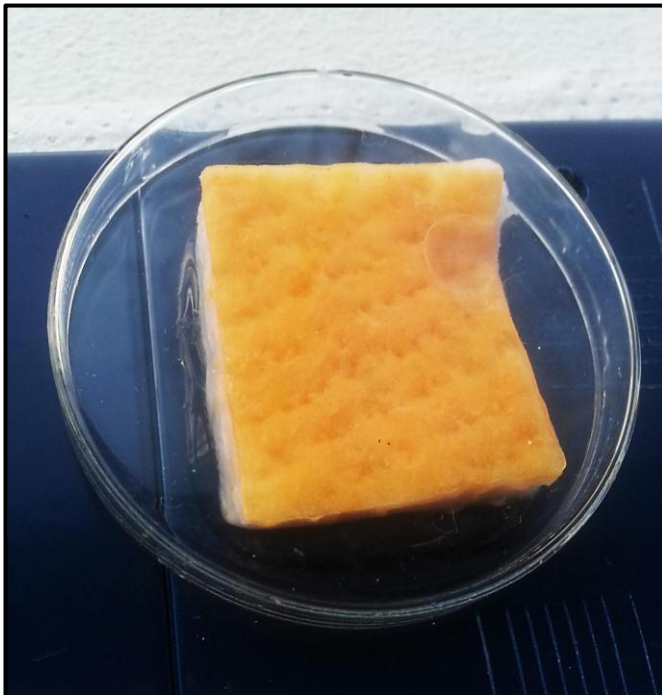
Kuva 9. ERICHSEN Cross Hatch Cutter Model 295 –leikkuri



Kuva 10. Kuivatartunnan mittausta hilaristikkokokeella



Kuva 11. Pinnan vesirasitus ennen märkätartunnan testausta



Kuva 12. Vanun ja petrimaljan avulla levyn pinta pidettiin märkänä

6.3 Kondenssitesti

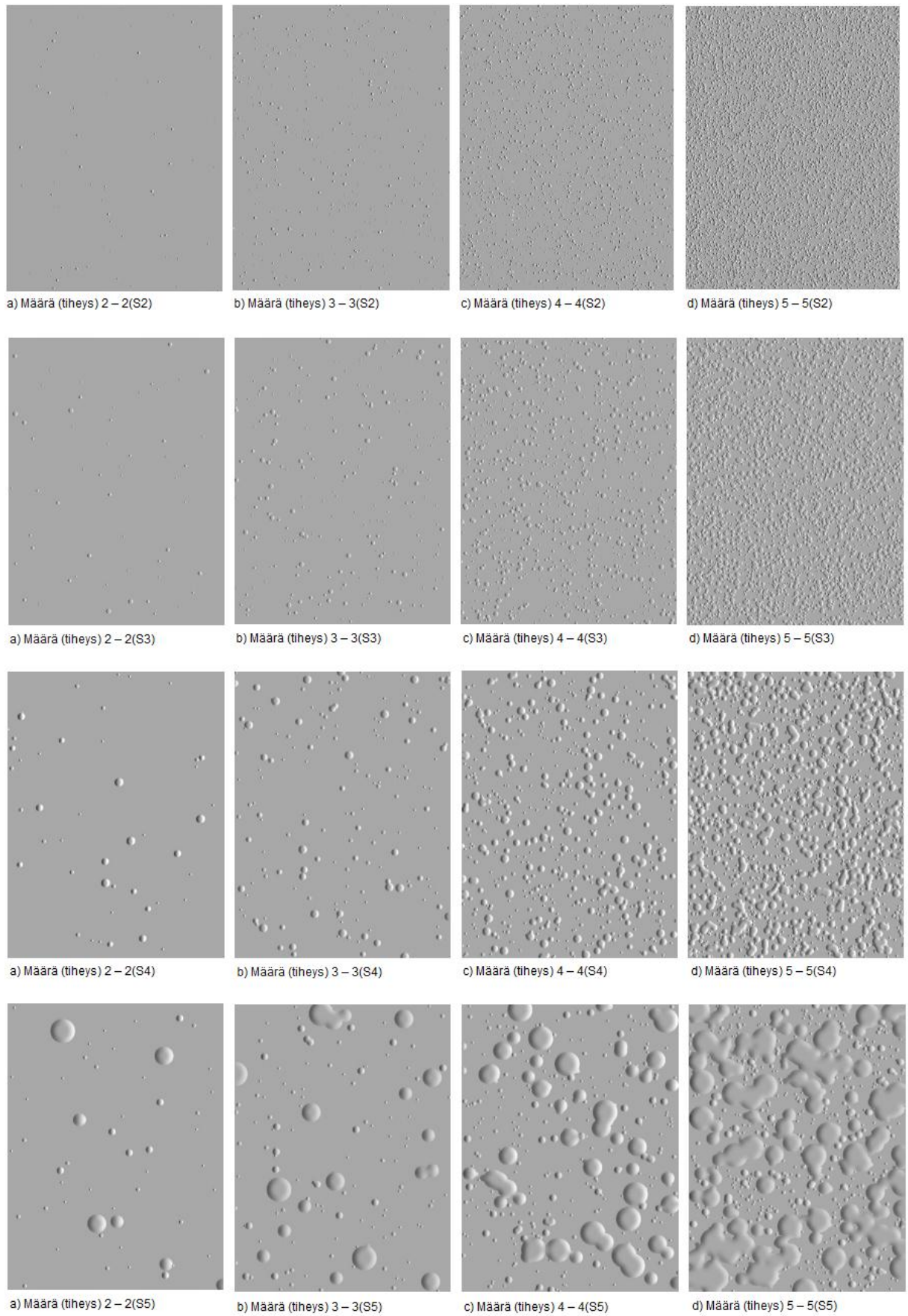
Kondensaatiotestaus suoritettiin standardin SFS - EN ISO 6270 - 1 (Maalit ja lakat. Kosteuden kestävyys määritys. Osa 1: Jatkuva kondensoituminen) mukaisesti. Työssä tehtiin kaksi rinnakkaistestausta. Kondensaatiokaapin pohjalla oleva vesi lämmitetään 40 °C:n lämpötilaan ja koelevyt asetetaan 60 ± 5 asteen kulmaan kondensaatiokaapin katoksi niin, että pintaan tiivistynyt vesi pääsee valumaan pois. Kaapin sisällä ilman kosteuspitoisuus on 100 %, jolloin kosteus kondensoituu levyjen pinnalle. Koelevyt eivät kuumene testauksen aikana, sillä ympäröivä ilma pitää ne huoneenlämpöisinä. Koelevyt olivat kondensaatiokaapissa 240 tuntia (kuva 13).



Kuva 13. Kondenssikaappi

Kondensaatiokaapissa olleiden koelevyjen maalikalvon kiinnipysyvyyttä arvioitiin standardin SFS - EN ISO 4628 (Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 2: rakkuloituminen, osa 3: ruostuminen, osa 4: halkeilu, osa 5: hilseily) mukaisesti sekä hilaristikkokokeella.

Pinnoitteen huononemisen arvioinnissa koelevyjä vertailtiin käytännössä standardin ISO 4628 (osa 2: rakkuloituminen) mukaisesti, sillä mitään muutoksia ruostumisen, halkeilun ja hilseilyn suhteen ei tullut. Rakkuloituminen arvioidaan kuvan 14 mukaisesti ja arviointi tapahtuu silmämääräisesti.



Kuva 14. Rakkuloitumisasteet

6.4 Suolasumutesti

Suolasumutestaus suoritettiin standardin SFS - EN ISO 9227 (Korroosiokokeet keino-tekoisissa kaasuympäristöissä. Suolasumukokeet) mukaisesti. Märkämaalattujen levyjen maalaamaton puoli suojattiin ilmastointiteipillä ja levyihin tehtiin 1 mm leveä, vähintään 50 mm pitkä viilto metalliin saakka. Levyt olivat 1 %:ssa suolasumussa 480 tunnin ajan ja ne tarkastettiin 5 päivän eli noin 120 tunnin välein (Kuva 16).



Kuva 15. Levyt suolasumutestauksessa

Suolasumutestissä olleiden koelevyjien maalikalvon kiinnipysyvyyttä arvioitiin standardien SFS - EN ISO 4628 (Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 2: rakkuloituminen, osa 3: ruostuminen, osa 4: halkeilu, osa 5: hilseily) ja SFS-EN ISO 4628-8 (Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten vaurioiden esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 8: Viiltoa tai muuta pinnoitteeseen tehtyä vauriota ympäröivän irtoamisen ja korroosion arviointi) mukaisesti ja hilaristikkokokeella.

Pinnoitteen huononemisen arvioinnissa koelevyjä vertailtiin käytännössä standardin ISO 4628 (osa 2: rakkuloituminen) mukaisesti, sillä mitään muutoksia ruostumisen, halkeilun ja hilseilyn suhteen ei tullut.

Kuvassa 17 on maalin irtoamisen laskenta ja tulosten ilmoittaminen. Kuvassa 18 ovat irtoamisasteet.

6 Laskenta ja tulosten ilmoittaminen

6.1 Irtoamisen määrittäminen mittamalla ja laskemalla

Irtoamisen keskimääräinen kokonaisleveys d_1 määritetään 0,5 mm:n tarkkuudella käyttämällä yhtälöä (1).

$$d_1 = \frac{a+b+c+d+e+f}{6} \quad (1)$$

Lasketaan irtoaminen d millimetreinä käyttäen yhtälöä (2).

$$d = \frac{d_1 - w}{2} \quad (2)$$

jossa

d_1 on irronneen alueen kokonaisleveyden keskiarvo millimetreinä

w on alkuperäisen viillon tai muun keinotekoisien vaurion leveys millimetreinä

a, b, c, d, e, f ovat yksittäisiä irtoamisen mittauksia, ks. kuva 1.

Kuva 16. Viiltoa ympäröivän irtoamisen laskenta ja tulosten ilmoittaminen

	Aste 1 - Hyvin vähäinen
	Aste 2 - Vähäinen
	Aste 3 - Kohtalainen
	Aste 4 - Huomattava
	Aste 5 - Vakavaa

Kuva 17. Kuvastandardit viillon ympärillä olevan irtoamisen määrittämiseksi

7 Tutkimustulokset

7.1 Irtivetokoe

Koestamattomille eli referenssilevyille tehtiin maalikalvon tartunnan arviointi irtiveto- ja hilaristikkokokeilla. Taulukossa neljä on esitetty merialumiinilevyjen irtivetokokeen tulokset.

Taulukko 4. Irtivetokokeiden tulokset merialumiinilevyille. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihku-puhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaus käsittelyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Käsittely-yhdistelmä	Nupin numero	Vetokokeen tulos (MPa)	Murtumatyyppi
Meri, SaS, Märkä	1	6,12	A/B 40%, Y/Z 60 %
	2	7,79	A/B 90%, Y/Z 10 %
	3	9,96	A/B 90 %, Y/Z 10 %
		ka = 7,96	
Meri, SaS, Jauhe 1 x	1	5,52	B/Y 100%
	2	5,52	B/Y 100 %
	3	6,12	B/Y 100%
		ka = 5,72	
Meri, Konv.1, Märkä	1	11,39	A/B 40%, B 40%, B/Y 20 %
	2	9,18	A/B 20 %, B/Y 40 %, Y 40%
	3	7,18	Y 90 %, B/Y 10%
		ka = 9,25	
Meri, Konv.1, Jauhe 1 x	1	5,22	B/Y 100 %
	2	4,19	B/Y 100 %
	3	4,78	Y 100%
		ka = 4,73	
Meri, Konv.1, Jauhe 2 x	1	5,67	B/Y 100%
	2	5,22	B/Y 100%
	3	5,82	Y 90 %, Y/Z 10 %
		ka = 5,57	
Meri, Konv.2, Märkä	1	13,48	A/B 40%, B 60 %
	2	8,71	A/B 70%, Y/Z 30%
	3	14,13	B 80 %, A/B 10%, Y/Z 10%
		ka = 12,11	
Meri, Konv.2, Jauhe 1 x	1	7,02	B/Y 100 %
	2	4,19	B/Y 90 %, Y/Z 10 %
	3	6,12	B/Y 100%
		ka = 5,78	
Meri, TP, Märkä	1	7,63	B 100%
	2	7,18	B 100%
	3	7,18	B 100%
		ka = 7,33	

7.2 Hilaristikkokoe

Taulukoissa 5 - 10 on esitetty hilaristikkokokeiden kuiva- ja märkätartunnan tulokset koestamattomille anodisoiduille, seostamattomille ja merialumiinilevyille.

Kuivatartuntatestissä märkämaalattujen anodisoitujen levyjen maali oli hilseillyt urien reunoilta ja leikkauspisteistä sekä osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta oli vaurioitunut 5 - 35 %.

Märkätartuntatestissä anodisoitujen märkämaalattujen levyjen ja konversiopinnoitteella kaksi -esikäsiteltyjen ja märkämaalattujen merialumiinilevyjen maalikalvo lähti vaivattomasti irti levystä hilaristikkoleikkurilla ja kokeen jälkeen leikkausristikon alueesta 90 - 100 % oli vaurioitunut. Tartuntapohjamaalauksella esikäsitellyn ja märkämaalatun merialumiinilevyn urien leikkauspisteessä oli nähtävissä pientä hilseilyä ja vain alle 5 % leikkausristikon alueesta oli vaurioitunut, joten luokitukseksi tuli yksi.

Taulukko 5. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset anodisoiduille alumiinilevyille. Anodisointina ovat ohut ja paksu anodisointi. Maalauksikäsitelyinä ovat yhden kerroksen märkä- ja jauhe- maalaus.

Käsittely-yhdistelmä	Testi 1		Testi 2		Testi 3	
	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5005, Ohut, Märkä	2	2	2	2	3	3
5005, Paksu, Märkä	1	1	2	2	2	2
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0

Taulukko 6. Hilaristikkokokeen märkätartunnan tulokset anodisoiduille alumiinilevyille. Anodisointina ovat ohut ja paksu anodisointi. Maalauksikäsitelyinä ovat yhden kerroksen märkä- ja jauhemaalaus.

Käsittely-yhdistelmä	Testi 1	
	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5005, Ohut, Märkä	5	5
5005, Paksu, Märkä	5	5
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	0
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	0

Taulukko 7. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset seostamattomille alumiinilevyille. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauksikäsittelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Käsittely-yhdistelmä	Testi 1		Testi 2		Testi 3	
	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
1050A, SaS, Märkä	0	0	0	0	0	0
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Märkä	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.2, Märkä	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0
1050A, TP, Märkä	0	0	0	0	0	0

Taulukko 8. Hilaristikkokokeen märkätartunnan tulokset saostamattomille alumiinilevyille. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauksikäsittelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Käsittely-yhdistelmä	Testi 1	
	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
1050A, SaS, Märkä	0	0
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	0
1050A, Konv.1, Märkä	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0
1050A, Konv.2, Märkä	0	0
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0
1050A, TP, Märkä	0	0

Taulukko 9. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset merialumiinilevyille. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaus-käsittelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Käsittely- yhdistelmä	Testi 1		Testi 2		Testi 3	
	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5754, SaS, Märkä	0	0	0	0	0	0
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Märkä	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.2, Märkä	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0
5754, TP, Märkä	0	0	0	0	0	0

Taulukko 10. Hilaristikkokokeen märkätartunnan tulokset merialumiinilevyille. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaus-käsittelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Käsittely- yhdistelmä	Testi 1	
	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5754, SaS, Märkä	0	0
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	0
5754, Konv.1, Märkä	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0
5754, Konv.2, Märkä	5	5
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0
5754, TP, Märkä	1	1

7.3 Kondenssitestin ja sitä täydentävän hilaristikkokeen tulokset

Taulukoissa 11 - 13 on esitetty levyjen rakkuloituminen anodisoituille, seostamattomille ja merialumiinilevyille kondenssitestin jälkeen.

Kaikilla niillä levyillä, jotka rakkuloituivat kondenssitestauksessa, rakkulat olivat pieni-kokoisia niiden tiheyden vaihdellessa.

Taulukko 11. Anodisoitujen alumiinilevyjen rakkuloituminen kondenssitestin jälkeen. Anodisointina ovat ohut ja paksu anodisointi. Maalauksittelyinä ovat yhden kerroksen märkä- ja jauhe-maalaukset.

Käsittely-yhdistelmä	Rakkuloitumisaste	
	Levy 1	Levy 2
5005, Ohut, Märkä	5(S3)	5(S2)
5005, Paksu, Märkä	5(S2)	5(S2)
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	0
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	0

Taulukko 12. Seostamattomien alumiinilevyjen rakkuloituminen kondenssitestin jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauksittelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaukset sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaukset.

Käsittely-yhdistelmä	Rakkuloitumisaste	
	Levy 1	Levy 2
1050A, SaS, Märkä	0	0
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	0
1050A, Konv.1, Märkä	3(S2)	3(S2)
1050A, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0
1050A, Konv.2, Märkä	5(S2)	4(S2)
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	2(S2)	2(S2)
1050A, TP, Märkä	3(S2)	2(S2)

Taulukko 13. Merialumiinilevyjen rakkuloituminen kondenssitestin jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauksäsitte-
lyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhamaalaus.

Käsittely-yhdistelmä	Rakkuloitumisaste	
	Levy 1	Levy 2
5754, SaS, Märkä	0	0
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	0
5754, Konv.1, Märkä	3(S2)	3(S2)
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0
5754, Konv.2, Märkä	5(S2)	5(S2)
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	2(S2)	2(S2)
5754, TP, Märkä	2(S2)	5(S3)

Taulukoissa 14 - 16 on esitetty hilaristikkokokeiden kuivatartunnan tulokset anodisoituille, seostamattomille ja merialumiinilevyille kondenssitestin jälkeen.

Anodisoidut märkämaalatut levyt saivat luokituksessa huonoimman arvon 5, ja maali lähti leikkausristikon kohdalta irti 100 prosenttisesti Merialumiinilevyt, jotka esikäsiteltiin konversiopinnoitteella 2 tai tartuntapohjamaalattiin sekä päälle märkämaalattiin, saivat luokituksessa arvoja 2 - 4 väliltä. Loput levyistä läpäisivät testin arvolla nolla.

Taulukko 14. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset anodisoiduille alumiinilevyille kondenssitestin (240 h) jälkeen. Anodisointina ovat ohut ja paksu anodisointi. Maalaus käsittelyinä ovat yhdenkerroksen märkä- ja jauhemaalaukset.

	Testi 1		Testi 2		Testi 3		Testi 4	
Käsittely-yhdistelmä	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5005, Ohut, Märkä	5	5	5	5	5	5	5	5
5005, Paksu, Märkä	5	5	5	5	5	5	5	5
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 15. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset seostamattomille alumiinilevyille kondenssitestin (240 h) jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaukskäsittelyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

	Testi 1		Testi 2		Testi 3		Testi 4	
Käsittely-yhdistelmä	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
1050A, SaS, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.2, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, TP, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 16. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset merialumiinilevyille kondenssitestin (240 h) jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauksikäsittelyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

	Testi 1		Testi 2		Testi 3		Testi 4	
Käsittely yhdistelmä	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5754, SaS, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.2, Märkä	3	3	3	4	3	3	3	3
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, TP, Märkä	3	3	2	2	2	2	2	2

7.4 Suolasumutestin ja sitä täydentävän hilaristikkokeen tulokset

Taulukoissa 17 - 19 on esitetty levyjen rakkuloituminen anodisoiduille, seostamattomille ja merialumiinilevyille suolasumutestin jälkeen.

Suolasumutestin jälkeen rakkuloitumista oli nähtävissä vain pyyhkäisysuihkupuhdistetuissa märkämaalatuissa levyissä. Tämä päti niin seostamattomiin kuin merialumiinilevyihin. Rakkuloituminen oli keskittynyt lähemmäs viiltoa, joka tehtiin suolasumutestausta varten. Seostamattomissa alumiinilevyissä rakkulat olivat kooltaan isompia ja niitä oli harvassa, kun merialumiinilevyjen pintaan oli muodostunut hyvin tiheää pientä rakkulaa. Rakkuloitumisasteita oli hankala tulkita standardin mukaisesti, sillä rakkulat eivät olleet levittäytyneet kaikkialle levyn pintaan, vaan vain viillon läheisyyteen. Kaikissa muissa levyissä pinta oli täysin rakkulaton.

Taulukko 17. Anodisoitujen alumiinilevyjen rakkuloituminen suolasumutestin jälkeen. Anodisointina ovat ohut ja paksu anodisointi. Maalaus käsittelyinä ovat yhdenkerroksen märkä- ja jauhe- maalaus.

Käsittely yhdistelmä	Rakkuloitumisaste	
	Levy 1	Levy 2
5005, Ohut, Märkä	0	0
5005, Paksu, Märkä	0	0
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	0
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	0

Taulukko 18. Seostamattomien alumiinilevyjen rakkuloituminen suolasumutestin jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaus käsittelyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Käsittely yhdistelmä	Rakkuloitumisaste	
	Levy 1	Levy 2
1050A, SaS, Märkä	2(S4)	2(S4)
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	0
1050A, Konv.1, Märkä	0	0
1050A, Konv.1 , Jauhe 1 x	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0
1050A, Konv.2, Märkä	0	0
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0
1050A, TP, Märkä	0	0

Taulukko 19. Merialumiinilevyjen rakkuloituminen suolasumutestin jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauuskäsittelyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Käsittely yhdistelmä	Rakkuloitumisaste	
	Levy 1	Levy 2
5754, SaS, Märkä	3(S2)	3(S2)
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	0
5754, Konv.1, Märkä	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0
5754, Konv.2, Märkä	0	0
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0
5754, TP, Märkä	0	0

Taulukoissa 20 - 22 on esitetty maalin irtoaminen viillosta anodisoiduista, seostamattomista ja merialumiinilevyistä suolasumutestin jälkeen.

Märkä- ja jauhemaalattujen anodisoitujen levyjen maali irtosi terällä raaputettaessa koko levyn leveydeltä (70 - 80 mm) ja irtoamisaste näin ollen oli asteikon suurin eli 5. Seostamattomista alumiineista ne levyt, jotka esikäsiteltiin pyyhkäisysuihkupuhdistuksella tai tartuntapohjamaalilla ja märkämaalattiin saivat maalikalvon irtoamisasteiksi arvoja 2 - 3. Irronneen alueen kokonaisleveys vaihteli 2,5 - 4 mm:n välillä.

Taulukko 20. Anodisoitujen alumiinilevyjen maalin irtoaminen viillosta suolasumutestin jälkeen. Anodisointina ovat ohut ja paksu anodisointi. Maalauksikäsitelyinä ovat yhdenkerroksen märkä- ja jauhemaalaukset.

Käsittely yhdistelmä	Levy 1			Levy 2		
	d ₁ , ka (mm)	d (mm)	Irtoamisaste	d ₁ , ka (mm)	d (mm)	Irtoamisaste
5005, Ohut, Märkä	80	39,5	5	80	39,5	5
5005, Paksu, Märkä	75	37	5	75	37	5
5005, Ohut, Jauhe 1 x	70	34,5	5	70	34,5	5
5005, Paksu, Jauhe 1 x	70	34,5	5	70	34,5	5

Taulukko 21. Seostamattomien alumiinilevyjen maalin irtoaminen viillosta suolasumutestin jälkeen. Esikäsitelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauksikäsitelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaukset sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaukset.

Käsittely-yhdistelmä	Levy 1			Levy 2		
	d ₁ , ka (mm)	d (mm)	Irtoamisaste	d ₁ , ka (mm)	d (mm)	Irtoamisaste
1050A, SaS, Märkä	2	0,5	3	4	1,5	3
1050A, SaS, Jauhe 1 x	1	0	0	1	0	0
1050A, Konv.1, Märkä	1	0	1	1	0	1
1050A, Konv.1, Jauhe 1 x	2	0,5	1	2	0,5	1
1050A, Konv.1, Jauhe 2 x	1	0	0	1	0	0
1050A, Konv.2, Märkä	1,5	0,25	1	1	0	1
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	1	0	0	1	0	0
1050A, TP, Märkä	3	1	2	2,5	0,75	2

Taulukko 22. Merialumiinilevyjen maalin irtoaminen viillosta suolasumutestin jälkeen. Esikäsitteilyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalauskaasittelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhe- maalaus.

Käsittely-yhdistelmä	Levy 1		
	d ₁ , ka (mm)	d (mm)	Irtoamisaste
5754, SaS, Märkä	8	3,5	4
5754, SaS, Jauhe 1 x	1	0	0
5754, Konv.1, Märkä	1	0	1
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	1	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	1	0	0
5754, Konv.2, Märkä	7	3	4
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	5	2	3
5754, TP, Märkä	6	2,5	3

Levy 2		
d ₁ , ka (mm)	d (mm)	Irtoamisaste
8	3,5	4
1	0	0
1	0	1
1	0	0
1	0	0
8	3,5	4
6	2,5	3
4	1,5	3

Taulukoissa 23 - 25 on esitetty hilaristikkokokeiden kuivatartunnan tulokset anodisoituille, seostamattomille ja merialumiinilevyille suolasumutestin jälkeen.

Ohuesti anodisoidut levyt saivat luokituksen 2 - 3. Maali oli hilseillyt urien reunoilta ja leikkauspisteistä sekä osittain tai kokonaan ruutujen eri osista. Leikkausristikon alueesta oli vaurioitunut 5 - 35 %. Paksusti anodisoidut levyt saivat luokituksen 3 - 4 ja leikkausristikon alueesta oli vaurioitunut 15 - 65 %. Anodisoiduilta levyiltä maalikalvo irtosi hilaristikkoleikkurilla helposti.

Konversiopinnoite 2:lla esikäsiteltyjen ja märkämaalattujen merialumiinilevyjen urien leikkauspisteessä oli nähtävissä hyvin pientä hilseilyä ja vain alle 5 % leikkausristikon alueesta oli vaurioitunut näissä kahdessa levyssä.

Taulukko 23. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset anodisoiduille alumiinilevyille suolasumutestin (480 h) jälkeen. Anodisointina ovat ohut ja paksu anodisointi. Maalauksikäsitelyinä ovat yhdenkerroksen märkä- ja jauhemaalaukset.

	Testi 1		Testi 2		Testi 3		Testi 4	
Käsittely yhdistelmä	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5005, Ohut, Märkä	2	2	2	3	2	3	2	2
5005, Paksu, Märkä	3	3	3	4	3	3	3	4
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 24. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset seostamattomille alumiinilevyille suolasumutestin (480 h) jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaus käsittelyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhamaalaus.

	Testi 1		Testi 2		Testi 3		Testi 4	
Käsittely yhdistelmä	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
1050A, SaS, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.2, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
1050A, TP, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0

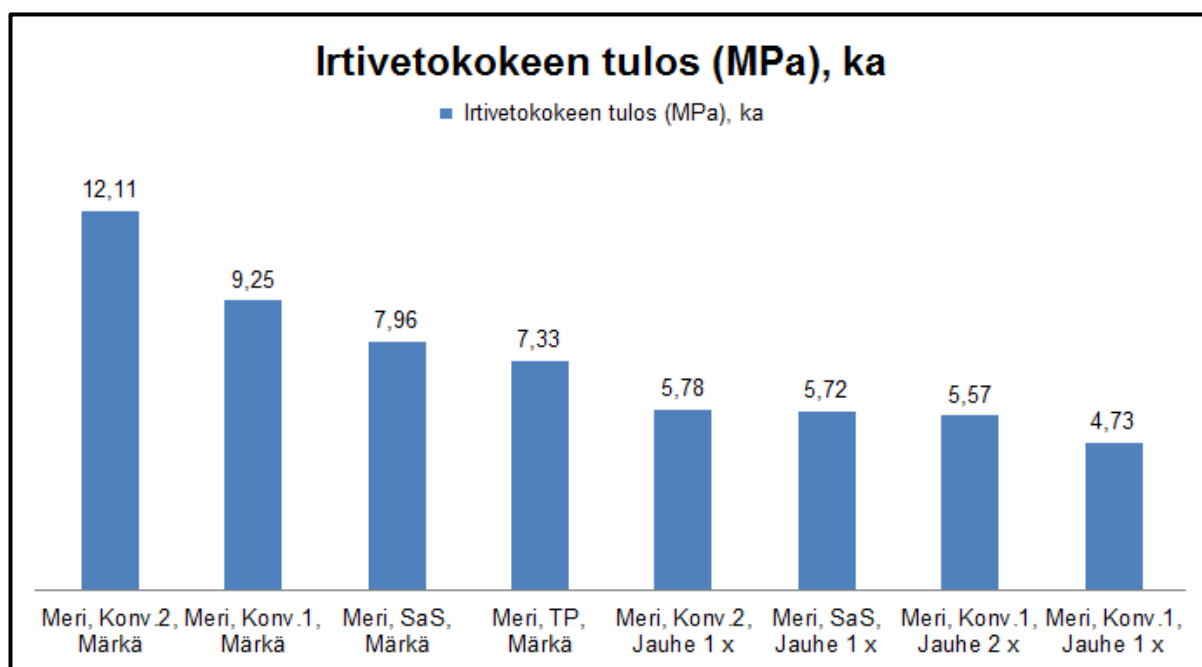
Taulukko 25. Hilaristikkokokeen kuivatartunnan tulokset merialumiinilevyille suolasumutestin (480 h) jälkeen. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaus käsittelyinä ovat yhden kerroksen märkamaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhamaalaus.

	Testi 1		Testi 2		Testi 3		Testi 4	
Käsittely yhdistelmä	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen	Harjauksen jälkeen	Teipin jälkeen
5754, SaS, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, Konv.2, Märkä	1	1	1	1	0	0	0	0
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	0	0	0	0	0	0	0	0
5754, TP, Märkä	0	0	0	0	0	0	0	0

8 Tulosten tarkastelu

8.1 Irtivetokoe

Merialumiinilevyille tehdyssä vertailussa vetokokeessa parhaiten menestyivät märkämaalatut levyt. Tämä johtui osakseen siitä, että erittäin sileälle jauhemaalatululle pinnalle ei saatu kunnon tartuntaa vetonupin kanssa hionnasta huolimatta. Jauhemaalattujen pintojen murtumatyypit olivat miltei kaikki tyyppiä B/Y (adheesiomurtuma maalin ja liiman välillä), mikä viittaa hyvin vahvasti siihen, että liiman tartunta on ollut huono. Kuvasta 19 nähdään merialumiinilevyille tehdyn irtivetokokeen keskiarvojen tulokset.



Kuva 18. Merialumiinilevyjen vetokokeiden tulokset. Esikäsittelyinä ovat pyyhkäisysuihkupuhdistus, konversiopinnoite 1 ja 2 sekä tartuntapohjamaalaus. Maalaus käsittelyinä ovat yhden kerroksen märkämaalaus sekä yhden- ja kahden kerroksen jauhemaalaus.

Kaksi testauksessa parhaiten menestynyttä käsittely-yhdistelmää olivat konversiopinnoitteilla esikäsitellyt ja märkämaalatut levyt. Toiseksi parhaimmat tulokset tulivat pyyhkäisysuihkupuhdistuksella ja tartuntapohjamaalauksella esikäsitellyille märkämaalatuille levyille, joiden tuloksissa ei ollut suurta eroa. Kolmanneksi sijoittuneet jauhemaalatut levyt esikäsitteilymenetelmästä riippumatta saivat keskenään miltei saman tuloksen testissä.

8.2 Hilaristikkokoe

Koestamattomille levyille tehdyssä maalin kuiva- ja märkätartunnan hilaristikkokokeessa tulokset olivat hyvin selkeät. Kuivatartuntatestissä erottuvat selvästi märkämaalatut anodisoidut levyt sekä ohuella 5 - 10 μm että paksulla 15 - 20 μm anodisointikerroksella. Nämä saivat testissä huonoimmat tulokset luokitusten 2 - 3 väliltä. Hieman huonommin näistä kahdesta alumiinista pärjäsikin ohuesti anodisoitu levy. Kuivatartuntatestistä kaikki muut alumiinilajit käsittely-yhdistelmineen saivat tulokseksi nollan.

Märkätartunnan tuloksista nähdään, että testauksessa huonoiten pärjäsivät anodisoidut märkämaalatut levyt ja konversiopinnoitteella kaksi esikäsiteltyä ja märkämaalattua merialumiinilevyä. Nämä saivat kaikki testauksesta luokituksen viisi, mikä kertoo pinnoitteen erittäin huonosta tarttuvuudesta alustaan.

Näiden lisäksi ainoan nollasta poikkeavan tuloksen sai tartuntapohjamaalauksella esikäsitelty ja märkämaalattu merialumiinilevy.

8.3 Maalikalvon kestävyys kondenssitestissä

Anodisoitujen alumiinien rakkuloitumisasteen perusteella märkämaalatut levyt pärjäsivät kondenssitestissä huonoiten. Näissä levyissä rakkuloiden koko oli pieni, mutta niitä oli hyvin tiheässä. Rakkuloitumisasteet vaihtelivat välillä 5(S2) - 5(S3). Anodisoiduissa levyissä, jotka jauhemaalattiin, ei ollut mitään muutoksia rakkuloitumisen suhteen.

Seostamattomien alumiinilevyjen rakkuloitumisasteen arvioinnissa parhaiten pärjäsivät pyyhkäisysuihkupuhdistetut märkä- ja jauhemaalatut levyt, sekä konversiopinnoitteella 1 esikäsiteltyt jauhemaalatut levyt. Näissä levyissä ei ollut mitään muutoksia. Muissa levyissä rakkuloitumisasteet olivat hyvin samansuuruisia, 2(S2). Ainoastaan konversiopinnoitteella kaksi -esikäsitelty märkämaalattu levy sai arvioinnit 4(S2) - 5(S2) ja näin ollen pärjäsikin testauksessa huonoiten. Merialumiinilevyjen rakkuloitumisasteet eivät poikenneet juuri lainkaan seostamattomien alumiinilevyjen tuloksista.

Kondenssitestauksen jälkeen suoritetuista hilaristikkokokeista voidaan todeta, että levyt jotka pärjäsivät huonoiten ennen kondenssitestistä, pärjäsivät myös huonoiten testin jälkeen.

8.4 Maalikalvon kestävyys suolasumutestissä

Maalikalvon irtoamisen arvioinnissa tuloksiin tuli hajontaa. Kaikkein huonoimmat tulokset saivat anodisoidut alumiinilevyt, niin märkä kuin jauhemaalattunakin. Arvo viisi ei kuitenkaan kuvaa parhaiten anodisoitujen levyjen irtoamisastetta, sillä standardin asteikossa ei ole arvoa koko levyn mittaiselle irtoamiselle.

Seostamattomien alumiinilevyjen konversiopinnoitetut märkä- ja jauhemaalattut levyt sekä pyyhkäisysuihkupuhdistettu jauhemaalattu levy pärjäsivät testissä paremmin. Irtoamisasteet olivat luokkaa 0 - 1 ja irronneen alueen kokonaisleveys 1 - 2 mm.

Merialumiinilevyjen maalikalvon irtoamisessa parhaiten pärjäsivät konversiopinnoite 1:llä käsiteltyt märkä- ja jauhemaalattut levyt sekä pyyhkäisysuihkupuhdistetut jauhemaalattut levyt. Näiden irtoamisasteet olivat luokkaa 0 - 1 ja irronneen alueen kokonaisleveys 1 - 2 mm. Loput merialumiinilevyt pärjäsivät selvästi huonoimmin testissä saaden irtoamisasteiksi arvoja 3 - 4 ja irronneen alueen kokonaisleveydeksi 4 - 8 mm.

Suolasumutestin jälkeen tehdyssä kuivatartunnan testauksessa hilaristikkokokeella, huonoiten pärjäsivät anodisoidut märkämaalattut levyt. Suolasumutestin jälkeen anodisoitujen levyjen lisäksi ainoan nollasta poikkeavan tuloksen sai konversiopinnoite 2:lla esikäsiteltyt ja märkämaalattut merialumiinilevyt. Tämä yhdistelmä sai arvon yksi kahdesta testauksesta, kun testejä oli yhteensä neljä.

8.5 Koelevyt paremmuusjärjestyksessä

Tehtyjen testien ja tulosten perusteella koelevyt voitiin järjestää paremmuusjärjestykseen. Levyt järjestettiin hilaristikkokokeen luokituksen sekä maalikalvon rakkuloitumisen ja irtoamisen mukaisesti. Jokainen näistä on omassa taulukossaan ja näin koelevyt voitiin järjestää paremmuusjärjestykseen testikohtaisesti. Kunkin taulukon pisteet ovat yhteispisteitä kustakin tehdystä testistä. Mitä vähemmän perusmateriaali + käsittely-yhdistelmä sai pisteistä, sitä parempi se oli.

Hilaristikkokokeen pisteytyksessä laskettiin jokaiselle levyille kaikissa hilaristikkokokeissa ja rinnakkaistesteissä saadut pisteet yhteen. Pisteytyksessä laskettiin yhteen tulokset märkä- ja kuivatartunnasta, tulokset harjauksen ja teipinvedon jälkeen, sekä tulok-

set ennen ja jälkeen koestuksien. Levy, jolle oli kertynyt kaikissa hilaristikkokokeissa ja rinnakkaistestauksissa eniten pisteitä, pärjäsi huonoiten.

Rakkuloituminen pisteytettiin suoraan rakkuloitumisasteen perusteella. Jos levyllä ei ollut kokeen jälkeen mitään muutosta, pisteytys oli nolla. Kaikissa muissa tapauksissa rakkuloitumisasteiden määrää ja kokoa kuvaavat luvut laskettiin yhteen taulukon 12. mukaisesti. Taulukosta 12. nähdään, että rakkuloitumisen pisteytyksessä saman pistemäärän saavat esimerkiksi levyt, jotka ovat hyvin pienen ja erittäin tiheän rakkuloitumisen peitossa ja levyt, joiden rakkulat ovat isompia ja ne ovat hyvin harvassa. Koska rakkuloitumista arvioitiin ennen ja jälkeen koestuksen ja rinnakkaisia levyjä oli kaksi, laskettiin levyjen kaikissa kohdissa saadut rakkuloitusasteet yhteen. Levy, jolle oli kertynyt kaikissa rakkuloitumisen arvioinneissa eniten pisteitä, pärjäsi huonoiten.

Taulukko 26. Rakkuloitumisen pisteytys

Rakkuloiden koko 2	Pisteytys
2(S2)	$2 + 2 = 4$
3(S2)	$3 + 2 = 5$
4(S2)	$4 + 2 = 6$
5(S2)	$5 + 2 = 7$

Rakkuloiden koko 3	Pisteytys
2(S3)	$2 + 3 = 5$
3(S3)	$3 + 3 = 6$
4(S3)	$4 + 3 = 7$
5(S3)	$5 + 3 = 8$

Rakkuloiden koko 4	Pisteytys
2(S4)	$2 + 4 = 6$
3(S4)	$3 + 4 = 7$
4(S4)	$4 + 4 = 8$
5(S4)	$5 + 4 = 9$

Rakkuloiden koko 5	Pisteytys
2(S5)	$2 + 5 = 7$
3(S5)	$3 + 5 = 8$
4(S5)	$4 + 5 = 9$
5(S5)	$5 + 5 = 10$

Maalin irtoamisen pisteytyksessä laskettiin yhteen maalin irtoamisen keskimääräinen kokonaisleveys d_1 (mm). Koska testissä oli rinnakkaisia levyjä kaksi, laskettiin molempien levyjen maalin irtoamisleveyksien keskiarvot yhteen. Levy, jolle oli kertynyt maalin irtoamisen arvioinnissa eniten pisteitä, pärjäsikin huonoiten.

Taulukoissa 27 - 29 ovat levyt paremmuusjärjestyksessä testikohtaisesti.

Taulukko 27. Levyjen paremmuusjärjestys hilaristikkokokeessa

	Hilaristikon yhteispisteet	Sijoitus
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	1.
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	1.
1050A, SaS, Märkä	0	1.
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	1.
1050A, Konv.1, Märkä	0	1.
1050A, Konv.1 , Jauhe 1 x	0	1.
1050A, Konv.1 , Jauhe 2 x	0	1.
1050A, Konv.2, Märkä	0	1.
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	0	1.
1050A, TP, Märkä	0	1.
5754, SaS, Märkä	0	1.
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	1.
5754, Konv.1, Märkä	0	1.
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	1.
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	1.
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	0	1.
5754, TP, Märkä	20	2.
5754, Konv.2, Märkä	39	3.
5005, Ohut, Märkä	82	4.
5005, Paksu, Märkä	86	5.

Sijoitus muu kuin 1.

Taulukko 28. Levyjen paremmuusjärjestys maalikalvon rakkuloitumisen perusteella

	Rakkuloitumisen yhteispisteet	Sijoitus
5005, Ohut, Jauhe 1 x	0	1.
5005, Paksu, Jauhe 1 x	0	1.
1050A, SaS, Jauhe 1 x	0	1.
1050A, Konv.1 , Jauhe 1 x	0	1.
1050A, Konv.1 , Jauhe 2 x	0	1.
5754, SaS, Jauhe 1 x	0	1.
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	0	1.
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	0	1.
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	8	2.
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	8	2.
1050A, Konv.1, Märkä	10	3.
1050A, TP, Märkä	10	3.
5754, SaS, Märkä	10	3.
5754, Konv.1, Märkä	10	3.
1050A, SaS, Märkä	12	4.
5754, TP, Märkä	12	4.
1050A, Konv.2, Märkä	13	5.
5754, Konv.2, Märkä	14	6.
5005, Paksu, Märkä	14	6.
5005, Ohut, Märkä	15	7.

Sijoitus muu kuin 1.

Taulukko 7. Levyjen paremmuusjärjestys maalikalvon viillosta irtoamisen perusteella

	Irtoamisen yhteispisteet	Sijoitus
1050A, SaS, Jauhe 1 x	2	1.
1050A, Konv.1, Märkä	2	1.
1050A, Konv.1 , Jauhe 2 x	2	1.
1050A, Konv.2, Jauhe 1 x	2	1.
5754, SaS, Jauhe 1 x	2	1.
5754, Konv.1, Märkä	2	1.
5754, Konv.1, Jauhe 1 x	2	1.
5754, Konv.1, Jauhe 2 x	2	1.
1050A, Konv.2, Märkä	2,5	2.
1050A, Konv.1 , Jauhe 1 x	4	3.
1050A, TP, Märkä	5,5	4.
1050A, SaS, Märkä	6	5.
5754, TP, Märkä	10	6.
5754, Konv.2, Jauhe 1 x	11	7.
5754, Konv.2, Märkä	15	8.
5754, SaS, Märkä	16	9.
5005, Ohut, Jauhe 1 x	140	10.
5005, Paksu, Jauhe 1 x	140	10.
5005, Paksu, Märkä	150	11.
5005, Ohut, Märkä	160	12.

Sijoitus muu kuin 1.

Kaikille tämän työn levyille asetettu koestusaika kondenssikaapissa oli 240 h ja suolasumussa 480 h. Rasitusluokan C3 - M märkämaalattujen levyjen kondenssitestin koestusaika on 120 h ja suolasumutestin 240 h, jolloin märkämaalattujen kappaleiden koestusajat tuplaantuivat. Tämä voi vaikuttaa olennaisesti märkämaalin rakkuloitumiseen.

Märkämaalattu anodisoitu levy sijoittui pisteytyksissä huonoiten pärjänneiden joukkoon. Tämä voi johtua siitä, että maali ei saanut tarpeeksi hyvää tartuntaa tiivistetylle anodisointipinnalle. Kova ja tiivis anodisointikerros suojaa alumiinia hyvin korroosiolta, mutta sen toimivuus maalauslujana oli heikkoa.

Tartuntapohjamaalatuissa levyissä kuivakalvon paksuus oli 30 - 35 μm , mikä on yli tuoteselosteessa suositellun maksimin. Tämä voi vaikuttaa nimenomaan rakkuloitumisherkkyyteen, sillä kyseisellä tuotteella on tarkoitus luoda mahdollisimman ohut kalvo alustan pinnalle. Kalvoon joka on liian paksu voi jäädä liuottimia tai muita aineita, jotka vaikuttavat kovuuteen. Jos kalvo jää pehmeäksi, se saattaa läpäistä vettä enemmän, jolloin kuplimistaipumus kasvaa. Tämä voi selittää levyjen huonohkon sijoittumisen testikohtaisissa pisteytyksissä.

9 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin eri alumiinilajien ja esikäsitteilyiden toimivuutta korroosionestomaalauksen pohjana. Alumiinilajeja oli kolme: anodisoitu, seostamaton ja merialumiini. Anodisoiduissa alumiineissa oli kahta eri kerrospaksuutta, jotka toimivat sellaisenaan maalauksen pohjana. Seostamaton ja merialumiini käsiteltiin tavanomaisilla esikäsitteilymenetelmillä sekä konversiopinnoitteilla. Kaikissa alumiinilajeissa käytettiin maalausjärjestelmänä märkä- ja jauhemaalaus.

Märkämaalatut kappaleet ylittivät raskausluokan C3 - M -mukaiset koestusajat kondenssi- ja suolasumutesteissä, mikä voi vaikuttaa olennaisesti maalin rakkuloitumiseen sekä tartuntaan ja täten selittää märkämaalattujen levyjen huonon sijoittumisen testikohtaisissa pisteytyksissä. Kuitenkin testauksissa haluttiin saada eroja levyjen välille, jolloin pidemmällä koestusajoilla siihen päästiin.

Maalin kuiva- ja märkätartunta oli erinomaista suurimmalla osalle levyjä maalauskäsittelystä riippumatta. Poikkeavia tuloksia tuli ainoastaan anodisoiduille levyille sekä konversiopinnoite 2:lla esikäsitellyille merialumiinilevyille, jotka oli märkämaalattu. Viimeistään levyjen märkätartuntatestauksessa tulos oli erittäin huono maalikalvon vaurioituessa 100 prosenttisesti hilaristikkokokeessa.

Kondenssi- ja suolasumukoestuksien perusteella voidaan todeta eri alumiinilajeille parhaat käsittely-yhdistelmät:

Anodisoidulle alumiinille parhaimpana maalausmenetelmä toimii jauhemaalaus, kun arviointi tehdään hilaristikkokokeen ja maalin rakkuloitumisen perusteella. Kuitenkin maalin viillosta irtoamisen arvioinnissa maalikalvo lähti miltei kokonaan levyn pinnasta, mikä kertoi maalin heikosta tartunnasta. Seostamattomille ja merialumiineille parhaimmat käsittely-yhdistelmät olivat pyyhkäisysuihkupuhdistus ja jauhemaalaus sekä konversiopinnoite 1 ja jauhemaalaus.

Työn katsottiin olleen erittäin hyödyllinen Teknos Oy:lle, jolla ei ollut riittävästi tutkimustietoa eri alumiinilajien esikäsitteily- ja maalausyhdistelmistä. Anodisoidun alumiinin maalauksen ollessa harvinaisempaa ei sen korroosionestomaalauksen kestävydestä ollut aikaisempaa tutkimusperäistä tietoa. Koska alumiinien esikäsitteilyä ja korroosionestomaalauksen toimivuudesta ollaan jatkuvasti enemmän kiinnostuneita, tar-

keäksi koettiin erilaisten esikäsittelymenetelmien vertailu. Tavanomaisen esikäsittelyiden lisäksi työn tuloksista nähdään uusien konversiopinnoitteiden toimivuus. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi, kun alumiinipinnoille etsitään parasta ja samanaikaisesti taloudellisesti edullisinta korroosionestomaalausta.

Teknos Oy on kiinnostunut jatkamaan tässä insinööriyössä käytettyjen koemateriaalien testauksia.

Lähteet

- 1 Aluminum. Los Alamos National Laboratory. Verkkodokumentti.
<<http://periodic.lanl.gov/13.shtml>> Luettu 12.3.2014
- 2 Teknologia teollisuus. Alumiinin käyttökohteet. Verkkodokumentti.
<<http://www.teknologiateollisuus.fi>> Luettu 12.3.2014
- 3 Metalliteollisuuden keskusliitto, MET. 2002. Raaka-aine käsikirja, Alumiinit. MET – julkaisusarja n:o 13/2002. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- 4 Aluminium design. Verkkodokumentti.
<<http://www.aluminiumdesign.net>> Luettu 11.3.2014
- 5 Tampereen teknillinen yliopisto. Verkkodokumentti.
<http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_2_1.php> Luettu 12.3.2014
- 6 Valuatlas. Verkkodokumentti.
<<http://www.valuatlas.fi/oppimateriaalit.php>> Luettu 12.3.2014
- 7 Kunnossapitoyhdistys ry. 2004. Korroosiokäsikirja. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 12. KP – Media Oy.
- 8 VTT. Verkkodokumentti.
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P623.pdf>> Luettu 1.4.2014
- 9 Tunturi, Pirjo, Tunturi, Pekka. 1999. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. Metalliteollisuuden keskusliitto. MET – julkaisusarja n:o 13/2002. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- 10 Liikennevirasto. Verkkodokumentti.
<http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2010-25_merimerkkien_pintakasittelyohje_web.pdf> Luettu 10.4.2014

11 Tikkurila. Verkkodokumentti.

<[http://www.tikkurila.fi/files/5017/Metallipintojen teollinen maalaus 2009.pdf](http://www.tikkurila.fi/files/5017/Metallipintojen_teollinen_maalaus_2009.pdf)>

Luettu 27.4.2014

12 Chemetall. Verkkodokumentti.

<www.chemetall.fi> Luettu 1.4.2014

13 Henkel. Verkkodokumentti.

<http://www.henkel.se/ses/content_data/5444_BonderiteMailing_approved160107.pdf> luettu 1.4.2014

14 Teknos Oy. Verkkodokumentti.

<www.teknos.fi> Luettu 2.4.2014

15 Ruukki. Verkkodokumentti.

<<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Ruostumaton-teras-ja-alumiini/Alumiinilevyt-ja-kelat/Alumiini-EN-AW-1050A>>

Luettu 31.3.2014

16 Ruukki. Verkkodokumentti,

<<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Ruostumaton-teras-ja-alumiini/Alumiinilevyt-ja-kelat/Alumiini-EN-AW-5754>>

Luettu 24.3.2014

17 Ruukki. Verkkodokumentti,

<<http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Ruostumaton-teras-ja-alumiini/Alumiinilevyt-ja-kelat/Alumiini-EN-AW-5005>>

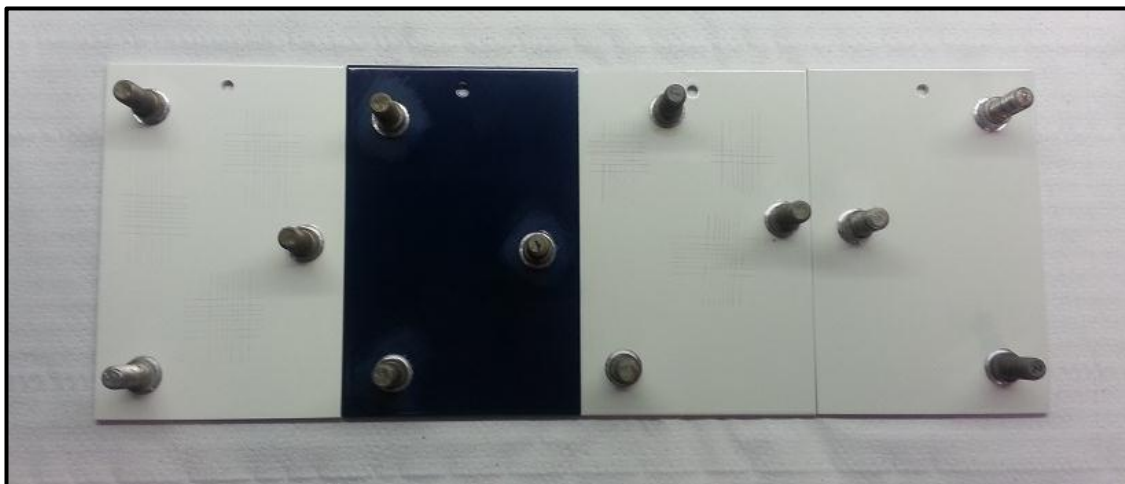
Luettu 31.3.2014

18 Lukkari, J. Alumiinit ja niiden hitsaus, Metalliteollisuuden keskusliitto MET, Tammerpaino Oy, 2001

Kuvia koelevyistä



Kuva 1. Levyjä vesirasituksessa 24 h ennen märkätartunnan testausta



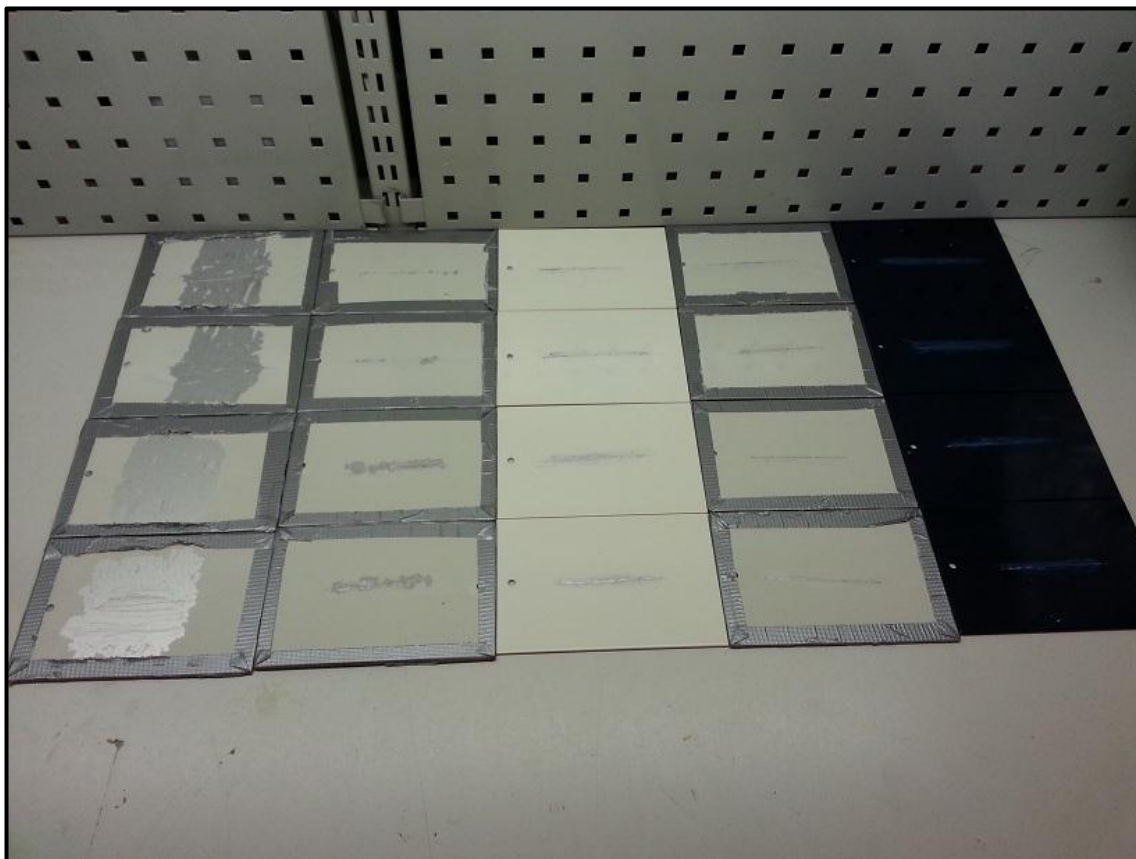
Kuva 2. Levyjä valmiina vetokokeeseen



Kuva 3. Levyjä ennen suolasumutestausta



Kuva 4. Osa suolasumussa olleita levyjä välitarkastuksessa



Kuva 5. Levyjä maalikalvon irtoamisen arvioinnissa

